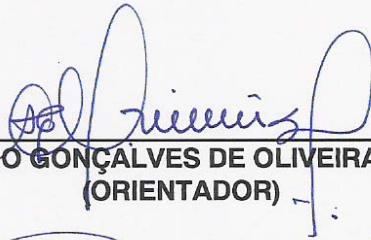
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO, REGISTRO E ANÁLISE DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA

EDVALDO LIMA PANIAGO

ORIENTADOR: MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA

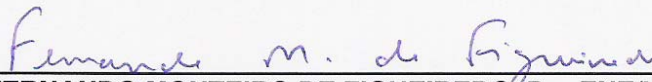
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 271 A/06
BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2006

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO, REGISTRO E ANÁLISE DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA

Edvaldo Lima Paniago

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA , Dr, ENE/UNB
(ORIENTADOR)

MANOEL EDUARDO MIRANDA NEGRISOLI, Dr., CPFL
(EXAMINADOR EXTERNO)

FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, Dr., ENE/UNB
(EXAMINADOR INTERNO)

BRASÍLIA, 29 DE SETEMBRO DE 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

PANIAGO, EDVALDO LIMA
Dispositivo para Monitoramento, Registro e Análise dos Indicadores de Continuidade no Fornecimento da Energia Elétrica [Distrito Federal] 2006.
xv, 95p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2006).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Indicador de continuidade	2.Monitoramento da energia
3. Registrador de interrupção	4.Qualidade da energia
I. ENE/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PANIAGO, E. L. (2006). Dispositivo para Monitoramento, Registro e Análise dos Indicadores de Continuidade no Fornecimento da Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência, Publicação PPGENE.DM-271A/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 95p.

CESSÃO DE DIREITOS

____

Edvaldo Lima Paniago
QND 55, Casa 26
72.120-550 Taguatinga – DF – Brasil.

Aos meus pais,
pelo incentivo aos estudos,
desde a tenra idade;

À minha Esposa,
que sempre torceu pelo meu sucesso,
incondicionalmente;

Às minhas filhas Flávia e Cássia,
às quais deixo a certeza de que,
a busca pelo saber nos permite
admirar, cada vez mais,
a beleza da criação.

AGRADECIMENTOS

À Companhia CEB Distribuição S.A., nas pessoas do seu diretor Antônio Dirceu e dos gestores Fábio Tadeu e Edgard Ketelhut, por terem me proporcionado a oportunidade de realizar este curso de mestrado, parte de um antigo sonho.

Ao meu orientador, professor Dr. Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, por ter abraçado a idéia deste projeto desde a primeira hora, e ter me direcionado com sabedoria para que o caminho a percorrer fosse o menos tortuoso possível.

Ao jovem amigo Euler Guimarães, por vários motivos, e em especial pelo seu espírito de cooperação e pelas importantes e imprescindíveis informações resgatadas nos diversos bancos de dados da CEB Distribuição, o que possibilitou a consecução deste trabalho.

Aos técnicos Cícero e Algenor do SG 11, que com esmero e empenho, viabilizaram as montagens dos protótipos aqui utilizados.

Aos amigos-eletricistas Ribamar e Clésio, que com entusiasmo e interesse, tomaram para si a responsabilidade pela instalação dos protótipos em campo.

À Eliane, minha esposa, pela compreensão, paciência, apoio e companheirismo, que contribuíram, de forma decisiva, para a conclusão desta dissertação.

Às minhas filhas, Flávia e Cássia, pela presença carinhosa, com votos de que esta dissertação possa estimular o crescimento em todos os sentidos e, sobretudo, como pessoas humanas, na caminhada de suas vidas!

RESUMO

DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO, REGISTRO E ANÁLISE DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA

Autor: Edvaldo Lima Paniago
Orientador: Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica
Brasília, setembro de 2006

Ao longo dos últimos anos, o monitoramento da qualidade da energia elétrica tem sido objeto da atenção das empresas concessionárias, tendo em vista a necessidade de satisfazer a expectativa e as exigências crescentes do seu público consumidor. Dentre os parâmetros de qualidade, destaca-se a continuidade do fornecimento, pois ela afeta diretamente processos produtivos e acarreta a insatisfação dos consumidores de todas as classes.

O presente trabalho mostra o desenvolvimento de um aparelho dedicado ao registro de interrupções da energia elétrica que, instalado na entrada de energia da unidade consumidora, possibilita o monitoramento, o cálculo e a indicação local da duração e freqüência das interrupções, acumuladas mensalmente, possibilitando assim o acompanhamento permanente dessas informações. As principais vantagens da solução proposta repousam sobre um baixo custo e simplicidade de manuseio.

A instalação desse aparelho permitirá ao consumidor conhecer a qualidade da prestação do serviço nos aspectos de continuidade, as datas e horários de início e fim das interrupções, bem como verificar possíveis violações dos indicadores. Por outro lado, a concessionária poderá avaliar a confiabilidade de seu sistema de apuração dos indicadores de continuidade e conhecer melhor o desempenho do seu sistema elétrico através da medição real desses indicadores. Finalmente, o órgão regulador terá condições de avaliar a qualidade das informações prestadas pelas concessionárias.

Três protótipos foram projetados e testados em laboratório. Em seguida, esses aparelhos foram instalados em circuitos da CEB Distribuição S.A. e seus registros colhidos para estudos estatísticos, sendo então confrontados com os valores apurados pelo sistema de informações da empresa, e analisadas as diferenças observadas.

Considerando que as interrupções de curta duração (inferiores a 3 minutos) podem ser tão prejudiciais para os equipamentos modernos quanto as interrupções de mais longa duração, foram também registradas e avaliadas sua relevância no sistema elétrico, demonstrando a necessidade da sua regulamentação.

ABSTRACT

DEVICE FOR MONITORING, REGISTERING AND ANALYSIS OF ELECTRIC POWER SUPPLY CONTINUITY INDICATORS

Author: Edvaldo Lima Paniago
Supervisor: Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira
Master's degree Program in Electric Engineering
Brasília-DF, Brazil – September of 2006

In the last few years, electric power quality monitoring has been object of attention of electric utilities, in order to meet rising consumer expectations and growing demand. Among the quality parameters, electric power continuity stands out, because it affects productive processes and leads to consumer dissatisfaction.

The aim of this paper is to present the development of a device for registering electric power interruptions, which is installed at the entry point of a consuming unit to facilitate monitoring, calculation and local indication of outage duration and frequency, accumulated monthly. Thus, it is possible to follow-up those data on a permanent basis. The main advantages of the proposed solution rely on low cost and simplicity of operation.

The installation of this device will allow consumer to check the quality of the electricity supplied regarding continuity aspects, start and end dates and times of outages, as well as verify possible violations of the standard indicators. On the other hand, the electric utility can evaluate the reliability of its continuity indicators checking system, and measure the performance of its electric system through real mensuration of those indicators. Finally, the regulatory agency will be able to evaluate the quality of the information rendered by the electric utility.

Three prototypes were designed and tested in laboratory. Soon after, the devices were installed in circuits of CEB Distribuição S.A., the data were registered for statistical studies, and confronted with the values calculated by the information system of the company, and then the differences were analyzed.

Considering that short duration outages (less than 3 minutes) can be as harmful for modern equipments as longer duration outages, they were also registered and their relevance to the electric system were evaluated, demonstrating the need of regulation.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIAÇÕES.

A	- Ampère.
Ah	- Ampère-hora.
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica.
ARGOS	- Sistema de Monitoramento de Interrupção de Energia Elétrica.
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange.
BASIC	- Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code.
BCD	- Binary-Coded Decimal.
Bit	- Binary Digit.
CEB	- Companhia Energética de Brasília.
CI	- Circuito Integrado.
CPU	- Central Processing Unit.
DEC	- Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora.
DHT	- Distorção harmônica total.
DIC	- Duração de interrupção individual por unidade consumidora.
DMIC	- Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora.
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.
EEPROM	- Electric Enhanced Programable Read-Only Memory.
FEC	- Freqüência equivalente de interrupção por unidade consumidora.
FIC	- Freqüência de interrupção individual por unidade consumidora.
IEC	- International Electrotechnical Commission.
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers.
I^2C	- 2-wire communication (marca registrada da Philips).
k	- Kilo (um milhar).
kHz	- Kilo Hertz.
kV	- Kilo Volt.
LCD	- Liquid Crystal Display.
LED	- Light-Emitting Diode.
mA	- Mili-Ampère.
mAh	- Mili-Ampère hora.
MHz	- Mega Hertz.
ms	- Mili-segundo.

nA	- Nano Ampère.
NiCd	- Níquel-Cádmio.
NOS	- Operador nacional do sistema elétrico.
ns	- Nano segundo.
PDIP	- Plastic Dual In-line Package.
PIC	- Programmable Interface Controller.
PWM	- Pulse Width Modulation.
R	- Resistor.
RAM	- Random-access memory.
RISC	- Reduced Instruction Set Computer.
RMS	- Root Mean Square.
RTC	- Real Time Clock.
s	- Segundo.
TTL	- Transistor transistor logic.
USART	- Universal Synchronous Asynchronous ReceiverTransmitter.
V	- Volt.
W	- Watt.
Ω	- Ohm.
µ	- Micro (um milionésimo).

1 - INTRODUÇÃO

O interesse pelo monitoramento da continuidade do fornecimento da energia elétrica remonta ao início da utilização da própria energia elétrica, principalmente com o objetivo de proteger dispositivos sensíveis à sua falta. Esse interesse persiste até os dias de hoje pois, a despeito dos melhores esforços despendidos pelas concessionárias, interrupções no fornecimento de energia podem naturalmente ocorrer.

Um sistema de distribuição é o último elo no complexo sistema de potência que, finalmente, entrega a energia elétrica, produzida nas centrais geradoras, aos usuários, ou seja, é a parte do sistema que está diretamente ligado às instalações consumidoras. O seu desempenho está intimamente relacionado, dentre outros, à concepção do projeto, à construção, à qualidade dos materiais e equipamentos empregados, às condições ambientais, aos danos causados por terceiros e aos trabalhos de manutenção e operação.

Esta diversidade de fatores acarreta grande número de interrupções no fornecimento de energia, que nem sempre são de controle das concessionárias. Por outro lado, os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes quanto ao fornecimento de energia elétrica, devido à utilização de equipamentos e processos produtivos vulneráveis às interrupções e às suas necessidades de conforto. Isto leva as concessionárias a se preocupar com a prestação de um serviço de boa qualidade, procurando sempre garantir a continuidade do fornecimento. Para cumprir esse objetivo, é conveniente que, a partir da avaliação do desempenho do sistema, passem também a atuar no sentido de aprimorar os critérios de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção das redes de distribuição e, além disso, se preocupem com a melhoria da qualidade dos materiais e equipamentos utilizados.

O fato do setor de distribuição ser um monopólio natural e, portanto, com características de poder de mercado, implica na necessidade de regulação dos parâmetros de qualidade no serviço público de fornecimento de energia elétrica. Além do mais, na atual regulação econômica adotada no Brasil, a remuneração das distribuidoras é baseada no serviço pelo preço, o que possibilita à concessionária a apropriação do ganho com minimização do custo. Assim, a regulação deve contemplar a implantação de padrões mínimos de

desempenho, estabelecendo parâmetros básicos para garantir o fornecimento adequado dos serviços.

Para se estabelecer padrões de qualidade adequados é necessário definir a real expectativa dos consumidores, isto é, identificar o quanto a sociedade está disposta a pagar pelos mesmos, pois a melhoria do nível de qualidade implica em aumento dos custos.

A qualidade do serviço prestado pelas empresas do setor elétrico de distribuição de energia pode ser avaliada nos seguintes grandes aspectos: a qualidade do atendimento ao consumidor, a qualidade do produto energia elétrica e a continuidade do fornecimento [Belisário, *et al,* 2003].

Esses aspectos são pontos básicos para a definição dos diversos critérios de localização e arranjo das subestações, localização das equipes de serviços, critérios de escolha dos materiais e equipamentos de controle e proteção, regulação de tensão, e configuração da rede de distribuição.

A qualidade do atendimento abrange a relação comercial existente entre a concessionária e o consumidor, considerando-se a cortesia, o tempo de atendimento às solicitações de serviços, o grau de presteza, o respeito aos direitos do consumidor, entre outros.

A qualidade do produto está relacionada com os fenômenos associados à forma de onda de tensão, tais como: flutuações de tensão, distorções harmônicas, variações momentâneas de tensão, entre outros.

A continuidade do fornecimento corresponde à disponibilidade da energia elétrica ao consumidor e é caracterizada por dois parâmetros: a duração e a freqüência das interrupções. Vale ressaltar que o termo interrupção é definido como a descontinuidade do neutro ou da tensão disponível em qualquer uma das fases de um circuito elétrico que atende a unidade consumidora [ANEEL, 2000].

O ideal é que não haja interrupção, ou, se houver, que seja a mínima possível e informada ao consumidor em tempo hábil, a fim de prevenir maiores prejuízos decorrentes da sua falta.

Dentre os aspectos de qualidade do serviço prestado, destaca-se a continuidade do fornecimento de energia, pois ela afeta diretamente os processos produtivos e acarreta a insatisfação dos consumidores de todas as classes. Além disso, não se pode falar em melhoria da qualidade do produto, se o produto nem mesmo foi entregue.

No Brasil, compete à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, regular os serviços de eletricidade, expedindo os atos necessários ao cumprimento das normas estabelecidas, promovendo e estimulando dessa forma a crescente melhoria dos padrões de qualidade a serem cumpridos pelas empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Como parte dos esforços para atingir esse objetivo, foi editada a Resolução 024/2000-ANEEL de 27 de janeiro de 2000 (aprimorada pela Resolução 177/2005-ANEEL de 28 de novembro de 2005), que introduziu novos avanços e reformulou os procedimentos até então existentes de controle da qualidade relacionados às interrupções no fornecimento da energia elétrica com duração a partir de 3 minutos. As metas dos indicadores de continuidade coletivos, que expressam os valores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras, foram reduzidas. Também foram fixadas metas mais apertadas para os indicadores individuais, que são associados a cada unidade consumidora individualmente considerada, tendo sido inclusive criado mais um indicador para melhor avaliar a qualidade do fornecimento sob o ponto de vista do consumidor. Para cada indicador estabelecido associou-se um limite considerado adequado e prevêem-se penalidades pela sua violação.

Os indicadores coletivos são particularmente úteis à agência reguladora para atender suas necessidades de avaliação das concessionárias, enquanto os individuais servem mais, em especial, ao interesse dos consumidores, para avaliar especificamente o seu atendimento pela distribuidora.

Vale ressaltar que os indicadores são apurados pelas próprias concessionárias e enviados posteriormente à ANEEL, a qual se encarrega de auditagens periódicas a fim de verificar a confiabilidade dessas informações.

Para a verificação do cumprimento da resolução mencionada, restava, no entanto, o desenvolvimento de um aparelho dedicado e de uso fixo que permitisse o monitoramento,

registro e indicação local dos indicadores de continuidade em unidades consumidoras de pequeno porte, ligadas diretamente em tensão secundária de distribuição, possibilitando assim o acompanhamento permanente dessas informações pelo consumidor.

Conectado na entrada de energia da unidade consumidora, tal aparelho permitirá ao consumidor conhecer a qualidade do serviço prestado no que tange ao aspecto da continuidade do fornecimento, as datas e horários de início e fim das interrupções, bem como verificar possíveis violações dos indicadores. Por outro lado, a concessionária poderá avaliar a confiabilidade de seu sistema de apuração dos indicadores de continuidade e melhor conhecer o desempenho do seu sistema elétrico através da medição real desses indicadores. Finalmente, o órgão regulador terá condições de avaliar a qualidade das informações prestadas pelas concessionárias.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico que se propõe a efetuar o monitoramento pretendido. Após a validação em laboratório, algumas unidades foram instaladas em pontos estratégicos da rede de distribuição de energia elétrica de uma concessionária, com o objetivo de quantificar a diferença entre os dados reais e os apurados pela empresa, bem como avaliar a qualidade das informações prestadas.

Adicionalmente, foram registradas as interrupções de curta duração, ou seja, aquelas com duração inferior a 3 minutos, como forma de avaliar sua relevância no sistema elétrico de potência, possibilitando assim subsidiar o órgão regulador no estabelecimento de metas para sua ocorrência, caso as mesmas se mostrem significativas; pois, com a disseminação de equipamentos eletrônicos sensíveis, uma interrupção transitória pode ser tão prejudicial quanto uma interrupção de alguns minutos. As principais vantagens da solução proposta repousam sobre um baixo custo e simplicidade de manuseio.

Exposto isso, o trabalho é desenvolvido conforme descrito nos parágrafos a seguir.

O Capítulo 2 se dedica a um breve histórico dos esforços dispensados pelo órgão regulador para o estabelecimento de padrões de qualidade no fornecimento da energia elétrica, bem como apresenta um resumo dos pontos de interesse estabelecidos pela Resolução 024 já mencionada. Esse capítulo também aborda as soluções atualmente adotadas para o

monitoramento da continuidade do fornecimento da energia elétrica a unidades consumidoras.

O Capítulo 3 descreve o desenvolvimento do protótipo do aparelho Registrador de Interrupção de Energia Elétrica proposto, dedicando atenção tanto à sua concepção física quanto ao programa utilizado para o gerenciamento pretendido das interrupções.

O Capítulo 4 apresenta o resultado dos ensaios realizados com o protótipo em laboratório, com vistas à sua validação. É apresentado ainda o resultado obtido com a instalação de 3 aparelhos Registradores de Interrupção de Energia Elétrica em unidades consumidoras ligadas ao sistema elétrico da empresa CEB Distribuição S.A.

O Capítulo 5 finaliza com as conclusões gerais do trabalho e com a exposição de algumas recomendações a partir dos resultados observados.

2 - CONTINUIDADE NO FORNECIMENTO DA ENERGIA

2.1 - INTRODUÇÃO

O controle de qualidade depende da definição apropriada de indicadores que representem o desempenho dos serviços. Alguns dos primeiros indicadores da qualidade dos serviços prestados apurados pelas concessionárias de distribuição se relacionam com a continuidade do fornecimento da energia elétrica. Os indicadores utilizados para essa finalidade permitem o controle e a monitoração do fornecimento de energia elétrica, a comparação de valores constatados ao longo de períodos determinados e, a partir de metas definidas, a verificação do resultado atingido.

Os indicadores, além de refletirem os níveis de qualidade, possibilitam a imposição de limites aceitáveis de interrupção de fornecimento. Esses indicadores são ainda utilizados pelas concessionárias de energia elétrica como valores de referência para os processos de decisão nas etapas de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção do sistema elétrico de distribuição.

2.2 - HISTÓRICO

No Brasil, a preocupação em padronizar o controle de qualidade dos serviços de energia elétrica remonta à publicação da Portaria DNAEE nº 046 de 17 de abril de 1978, a qual representou um marco histórico no estabelecimento das obrigações das concessionárias de energia elétrica com relação à avaliação do desempenho de seus sistemas. Essa portaria, que vigorou por mais de 20 anos, estabeleceu os primeiros dispositivos para o controle da continuidade, os quais – com a evolução do setor – tornaram-se insuficientes, pois, dentre outros, o cenário exigia o estabelecimento de metas mais rigorosas para as interrupções individuais, a limitação da duração de uma interrupção contínua, além do estabelecimento de penalidades pelo descumprimento das metas.

A implantação do novo modelo do setor elétrico ratificou um monopólio natural regulado no segmento de distribuição, reforçando assim a necessidade de apuração dos controles sobre a qualidade. Como o nível de qualidade implica em custos, a tendência das concessionárias é manter esse nível no menor patamar possível, de modo a maximizar seus

ganhos, correspondentes à margem entre o preço do serviço e o custo. Esses fatos, aliados à evolução dos recursos tecnológicos, tornaram imperativa a revisão dessa portaria [Belisário *et al*, 2003].

A ANEEL, sucessora do antigo DNAEE, assumiu o papel de promover a qualidade, regulamentar os padrões e garantir o atendimento aos mesmos, estimular a melhoria do serviço prestado, zelar direta e indiretamente pela observância da legislação, punir – quando necessário – e também definir os indicadores para acompanhamento do desempenho das concessionárias. Cabe também a esse órgão regulador estabelecer metas de melhoria de continuidade mediante contratos e/ou negociação com as concessionárias, possuindo poderes legais para estabelecer padrões de qualidade compulsórios, associados ou a pagamento de multa, ou a compensações individuais, ou a ajustes gerais de tarifa.

As principais resoluções da ANEEL que regulamentam a qualidade do serviço público de distribuição de energia elétrica são:

- Resolução 456/2000, que trata das condições gerais de fornecimento;
- Resolução 505/2001, que regulamenta a conformidade de tensão; e
- Resolução 024/2000, que estabelece indicadores de continuidade do fornecimento.

Outras resoluções que definem também responsabilidades e parâmetros de qualidade de outras atividades importantes do serviço de distribuição de energia elétrica são as seguintes:

- Resolução 520/2002, que regulamenta os tempos de atendimento de emergência;
- Resolução Normativa 61/2004, que trata dos ressarcimentos dos danos em equipamentos elétricos ocasionados pelas redes das concessionárias; e
- Resolução Normativa 57/2004, que trata da qualidade dos serviços dos Centros de Atendimento Telefônico das Distribuidoras.

A Resolução nº 024/2000, em particular, representa um marco importante na consolidação do papel da ANEEL, tendo introduzido novos avanços e reformulado os procedimentos de controle de qualidade sobre o aspecto da continuidade, até então existentes.

Entre as medidas mais significativas dessa Resolução estão a criação de procedimentos auditáveis, a uniformização do método de coleta de dados e registro dos mesmos, a forma de apresentação e a periodicidade do envio destes à ANEEL, de modo a possibilitar a análise e o acompanhamento.

Outra melhoria foi a reformulação dos indicadores individuais, que tornou possível a avaliação das ocorrências mensais de interrupção por unidade consumidora, além do acompanhamento pela agência reguladora e também pelo próprio consumidor, pois desde 2005 já é obrigatória a inclusão destes dados na fatura de energia elétrica.

Foram introduzidos novos critérios de formação de grupos de consumidores de características semelhantes e contíguos, geralmente pertencentes a uma determinada área de uma concessionária, que possibilitou o atendimento homogêneo. Estes conjuntos foram propostos pelas concessionárias à ANEEL que, após análise e aprovação, gerou uma resolução específica para cada concessionária com os dados validados.

Estabeleceram-se padrões de referência baseados no levantamento de dados históricos de cada concessionária e a comparação destes entre as diversas empresas. O desenvolvimento de técnicas de comparação de desempenho entre as empresas de distribuição permitiu a formulação desses novos padrões e o estabelecimento de metas de melhoria dos índices de continuidade.

As metas para os indicadores de continuidade individuais e coletivos (para cada conjunto de unidades consumidoras) foram definidas através de negociação entre as concessionárias e a ANEEL. Foram estabelecidas por concessionárias, com base nos valores históricos dos indicadores para os agrupamentos de consumidores, na análise comparativa de desempenho das empresas e nas metas dos contratos de concessão, quando existentes. Estas metas são passíveis de renegociação quando das revisões tarifárias.

Dos avanços obtidos e das disposições restabelecidas na Resolução 024, pode-se ainda ressaltar a exigência do envio dos indicadores apurados à ANEEL, a imposição de penalidades por descumprimento das metas, o estabelecimento de prazos para o aviso de interrupções programadas aos consumidores com a antecedência necessária e a obrigatoriedade da informação dos indicadores na fatura de energia elétrica. Também

determinou-se a disponibilização do serviço de atendimento gratuito e permanente para o registro de reclamações dos consumidores e as solicitações de providências para serviços emergenciais.

De acordo com essa mesma resolução, a continuidade dos serviços públicos de energia elétrica deverá ser supervisionada, avaliada e controlada por meio de indicadores coletivos que expressem os valores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras, bem como indicadores individuais associados a cada unidade consumidora em particular.

Ressalta-se que a regulamentação existente sinaliza a adoção de metas de continuidade gradativamente mais exigentes. Portanto, haverá sempre uma tendência das concessionárias em adicionar aos investimentos uma sofisticação maior na qualidade dos materiais e padrões de instalação, isso tanto para a modernização das redes existentes, quanto para a expansão do sistema elétrico.

2.3 - ASPECTOS DA RESOLUÇÃO 024/2000 - ANEEL

A Resolução 024 de 27 de janeiro de 2000 regulamenta os procedimentos para estabelecimento das metas de continuidade que se exige do sistema elétrico das concessionárias no atendimento aos seus consumidores.

São definidos cinco indicadores de continuidade, sendo dois de caráter coletivo, estabelecidos para cada um dos conjuntos de consumidores em que a concessionária foi subdividida, e três individuais, válidos para cada uma das unidades consumidoras.

Entende-se por CONJUNTO, qualquer agrupamento de unidades consumidoras, global ou parcial, de uma mesma área de concessão de distribuição, definido pela concessionária e aprovado pela ANEEL [ANEEL, 2000].

Na apuração dos indicadores, todas as concessionárias devem considerar apenas as interrupções de longa duração, ou seja, aquelas com duração igual ou superior a 3 minutos, permitindo assim uma adequação de todas as distribuidoras ao padrão único de 3 minutos, já que algumas delas chegaram a trabalhar com interrupções a partir de 1 minuto.

Destaca-se que o termo interrupção é definido como a descontinuidade do neutro ou da tensão disponível em qualquer uma das fases de um circuito elétrico que atende a unidade consumidora, sendo que o restabelecimento da energia é considerado apenas após o retorno do neutro e da tensão disponível em todas as fases, com tempo de permanência mínima igual a 1 minuto, no ponto de entrega da unidade consumidora [ANEEL, 2000].

A cada revisão tarifária periódica, a ANEEL fixa novas metas para os indicadores coletivos de cada concessionária, as quais são publicadas em resolução específica. As metas para os indicadores individuais são estabelecidas na Resolução 024/2000 para cada tipo de consumidor, em função das metas dos indicadores coletivos. Contudo, poderão ser definidas e fixadas metas que propiciem melhor qualidade dos serviços prestados, quando da celebração de contratos de fornecimento.

Considerando o procedimento de apuração dos indicadores, ou seja, efetuado exclusivamente pela concessionária, a Resolução prevê que os dados das interrupções de longa duração e os indicadores deles provenientes, sejam mantidos devidamente armazenados para uso da ANEEL, bem como dos consumidores, por um período mínimo de 5 (cinco) anos. Além disso, até 31 de dezembro de 2007, as concessionárias deverão certificar o processo de coleta dos dados e de apuração dos indicadores individuais e coletivos, com base nas normas da Organização Internacional para Normalização (*International Organization for Standardization*) ISO 9000.

2.3.1 - Indicadores coletivos

São definidos dois indicadores coletivos, associados a um conjunto de unidades consumidoras. O primeiro indicador de continuidade coletivo é a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, definido como o intervalo de tempo expresso em horas e centésimos de hora que, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado, ocorreu descontinuidade na distribuição de energia elétrica. Este indicador é denominado DEC, cuja expressão é apresentada a seguir:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{k} Ca(i) \times t(i)}{Cc} \qquad (2.1)$$

onde,

Ca(i) = Número de unidades consumidoras interrompidas em um evento (i) no período de apuração;

t(i) = Duração, em horas e centésimos de hora, de cada evento (i), no período de apuração;

i = Índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;

k = Número máximo de eventos no período considerado; e

Cc = Número total de unidades consumidoras, do conjunto considerado, no final do período de apuração.

O segundo indicador de continuidade coletivo é a Freqüência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, definido como o número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação, em cada unidade consumidora do conjunto considerado. Este indicador é denominado FEC, cuja expressão é apresentada a seguir:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{k} Ca(i)}{Cc} \qquad (2.2)$$

onde,

i, k, Ca (i) e Cs são definidos de forma idêntica ao caso do DEC.

Na apuração dos indicadores de conjunto, devem ser consideradas todas as interrupções que atingem as unidades consumidoras, sendo admitidas as seguintes exceções:

- Falha nas instalações da unidade consumidora, desde que não provoque interrupção em instalações de terceiros;
- Interrupção decorrente de obras de interesse exclusivo do consumidor, desde que não afete outras unidades consumidoras;
- Suspensão por inadimplência do consumidor; e
- Interrupção em situação de emergência, motivada por caso fortuito ou de força maior. Ressalta-se que as interrupções provenientes do sistema de transmissão não são consideradas como casos fortuitos ou de força maior.

Os indicadores de continuidade DEC e FEC devem ser apurados para cada mês, trimestre e ano civis.

A violação das metas preestabelecidas para os indicadores coletivos acarreta em multa pecuniária devida à ANEEL.

O gráfico da Figura 2.1 ilustra as metas de continuidade estabelecidas até o ano de 2008 [ANEEL, 2004] para unidades consumidoras atendidas em tensão secundária de um conjunto elétrico urbano da CEB denominado "Ceilândia Sul", onde fica clara a tendência decrescente dos indicadores de continuidade, que corresponde a uma tendência crescente na exigência de melhoria contínua.

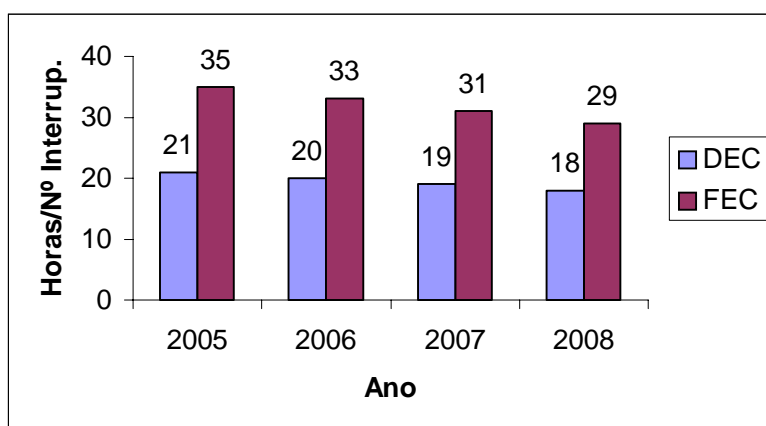



Figura 2.1 - Evolução das metas anuais de DEC e FEC para o conjunto Ceilândia Sul.

2.3.2 - Indicadores individuais

São definidos três indicadores individuais, associados a cada unidade consumidora. O primeiro indicador de continuidade individual é a Duração de Interrupção por Unidade Consumidora, definido como o intervalo de tempo expresso em horas e centésimos de hora que, no período de observação em uma determinada unidade consumidora individualmente considerada, ocorreu interrupção no fornecimento de energia elétrica. Este indicador é denominado DIC, cuja expressão é apresentada a seguir:

$$DIC = \sum_{i=1}^{n} t(i) \tag{2.3}$$

onde,
i = índice de interrupções da unidade consumidora, no período de apuração, variando de 1 a n;
n = número de interrupções na unidade consumidora considerada, no período de apuração;
t(i) = Duração, em horas e centésimos de hora, da interrupção (i) na unidade consumidora considerada, no período de apuração.

O segundo indicador de continuidade individual é a Freqüência de Interrupção por Unidade Consumidora, definido como o número de interrupções ocorridas, no período de observação, em uma determinada unidade consumidora individualmente considerada. Este indicador é denominado FIC, cuja expressão é apresentada a seguir:

$$FIC = n \tag{2.4}$$

onde,
n = número de interrupções na unidade consumidora considerada, no período de apuração.

O terceiro indicador de continuidade individual é a Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora, expresso em horas e centésimos de hora, definido como o tempo máximo de interrupção contínua da energia elétrica em uma determinada unidade consumidora, individualmente considerada. Este indicador é denominado DMIC, cuja expressão é apresentada a seguir:

$$DMIC = t(i)máx \tag{2.5}$$

onde,
t(i)máx = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção(i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas.

Os indicadores são computados para o mês em que ocorreu o fato gerador da interrupção, isso é, caso uma falta qualquer no sistema elétrico iniciar em um determinado dia do mês e terminar em outro mês, deve ser considerado sua data e hora de início. Nesses casos, a interrupção a ser registrada deve ser única, ou seja, registro de apenas um FIC, com data de

ocorrência relativa ao dia e mês de seu início e com duração (DIC) contabilizada desde o início da interrupção até o completo restabelecimento [ANEEL, 2001b].

Na apuração dos indicadores individuais DIC e FIC, devem ser consideradas todas as interrupções que atingem as unidades consumidoras, sendo admitidas as seguintes exceções:

- Falha nas instalações da unidade consumidora, desde que não provoque interrupção em instalações de terceiros;
- Interrupção decorrente de obras de interesse exclusivo do consumidor, desde que não afete outras unidades consumidoras;
- Suspensão por inadimplência do consumidor;
- Interrupção em situação de emergência, motivadas por caso fortuito ou de força maior;
- Interrupções oriundas de atuação de esquemas de alívio de carga; e
- Interrupções motivadas por racionamento instituído pelo Poder Concedente.

Na apuração do indicador DMIC, além das interrupções acima referidas, também não devem ser consideradas aquelas oriundas de desligamentos programados, desde que os consumidores tenham sido devidamente avisados.

Enquanto para o indicador DMIC devem ser apurados os valores mensais, para os indicadores DIC e FIC devem ser apurados os valores mensais, trimestrais e anuais. Os valores mensais apurados desses indicadores devem ser informados na fatura de energia elétrica dos consumidores.

A violação das metas preestabelecidas para os indicadores individuais acarreta em compensação financeira ao consumidor, de valor a ser creditado na fatura de energia elétrica. O valor dessa compensação pode chegar até a 120 (cento e vinte) vezes a média aritmética dos valores líquidos da fatura de energia elétrica, correspondentes aos meses do período de apuração do indicador violado.

A concessionária também está obrigada a informar, na fatura de todas as unidades consumidoras, sobre o direito do consumidor em receber essa compensação quando ocorrer a violação mencionada.

Para o estabelecimento dos indicadores individuais, as unidades consumidoras são classificadas por faixa de tensão nominal de fornecimento e pela sua localização urbana ou não-urbana.

A exemplo dos indicadores coletivos, os indicadores individuais, sendo uma função daqueles, também apresentam uma tendência crescente na exigência de melhoria contínua, o que é ilustrado pelos gráficos das Figuras 2.2 e 2.3, que se referem a unidades consumidoras atendidas em tensão secundária [ANEEL, 2004].

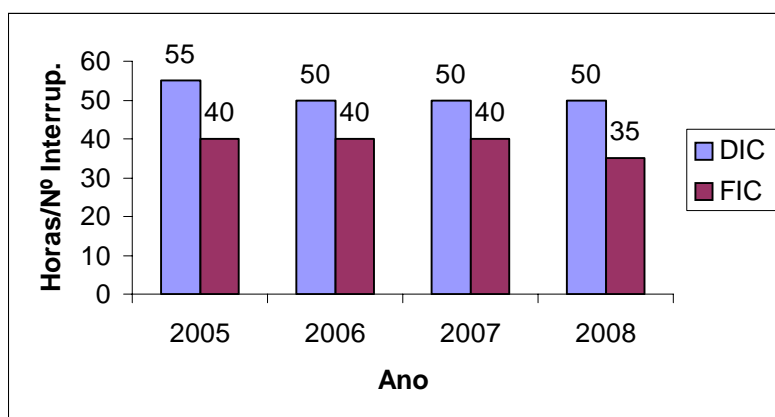



Figura 2.2 - Evolução das metas anuais de DIC e FIC para o conjunto Ceilândia Sul.

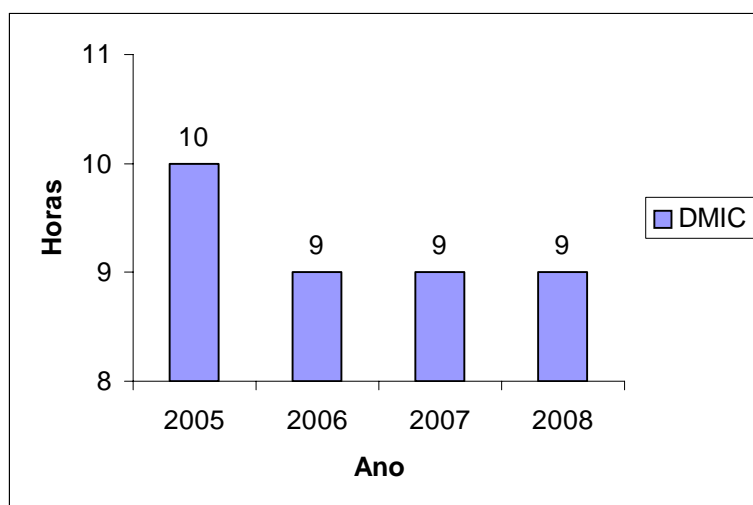



Figura 2.3 - Evolução das metas mensais de DMIC para o conjunto Ceilândia Sul.

2.4 - MONITORAMENTO DAS INTERRUPÇÕES

A fiscalização da qualidade dos serviços de energia elétrica é uma atribuição precípua da ANEEL, cabendo-lhe, para tanto, definir os padrões e os meios que permitam assegurar uma prestação adequada desses serviços à sociedade.

Além disso, tem sido crescente a demanda pela melhoria da qualidade dos serviços de energia elétrica por parte dos consumidores, exigindo uma pronta atuação do Órgão Regulador em benefício dos mesmos.

O atual processo de monitoramento da continuidade do fornecimento, efetuado pelas concessionárias, se restringe à coleta e ao processamento dos dados de interrupção que são informados periodicamente pelas empresas à ANEEL, a qual acompanha e avalia estes dados. Entretanto, é comum surgirem dúvidas, principalmente quanto à credibilidade das informações prestadas, em razão da forma manual como são coletadas em muitas empresas.

Por outro lado, os próprios consumidores se sentem na necessidade de aferir a real qualidade dos serviços prestados pela sua concessionária, ou mesmo verificar possíveis falhas nas informações referentes às interrupções no fornecimento da energia elétrica. Em vista disso, diversos aparelhos têm sido utilizados para essa função.

2.4.1 - Sistema Argos

Desenvolvido pelo LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, trata-se de um sistema de monitoramento de interrupção de energia elétrica que permite o envio, por via telefônica, dos dados referentes à interrupção e restabelecimento do fornecimento de energia na rede pública de distribuição, nos pontos em que os equipamentos de monitoração são instalados. Ele mede, portanto, a duração e a freqüência das interrupções no fornecimento da energia elétrica, possibilitando assim o acesso direto à essas informações, sem que dependa apenas de dados encaminhados pelas empresas concessionárias [Lactec, 2006].

O equipamento, instalado em pontos estratégicos do sistema de distribuição, supervisiona

continuamente o fornecimento da energia elétrica através de um sensor conectado à rede. Quando ocorre uma interrupção no fornecimento, a unidade de monitoração dispara automaticamente uma ligação telefônica para uma central de recepção, a qual identifica o equipamento que originou a chamada e inicia a contagem da duração da falta. Quando do restabelecimento da energia elétrica, o processo se repete e então são processados os cálculos dos indicadores de continuidade e disponibilizadas, via *Internet*, as informações referentes á interrupção.

O equipamento é fixado ao poste da rede pública de distribuição de energia elétrica, conforme mostrado na Figura 2.4, e tem suas partes totalmente blindadas e lacradas para protegê-lo contra intempéries e impedir qualquer tipo de violação.

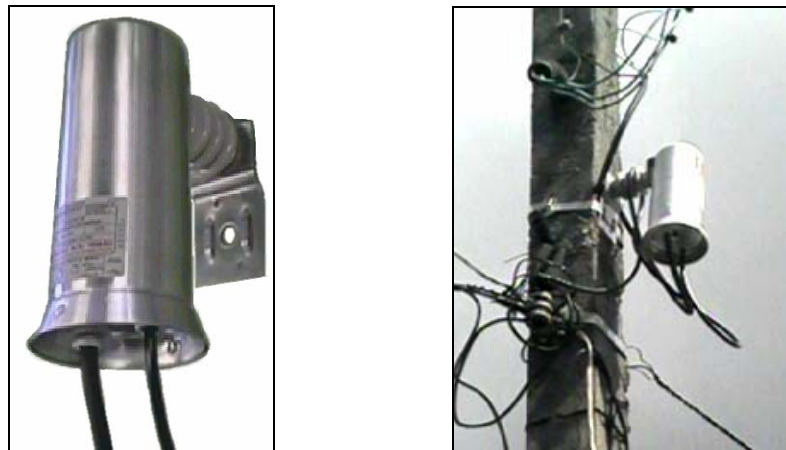



Figura 2.4 - Vista do equipamento Argos em detalhe e instalado em poste.
FONTE: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.

Os indicadores apurados pelo Argos são os de interrupção individuais (DIC e FIC), sendo que a utilização de metodologia estatística permite estimar, por meio de amostras do DIC e FIC, os indicadores de interrupção coletivos (DEC e FEC) relativos à duração e à freqüência por conjunto de consumidores. O indicador DMIC não é informado diretamente pelo Argos, porém pode ser calculado. Com esse sistema é possível fazer, através de amostragem, o acompanhamento da continuidade do fornecimento de modo mais eficaz, além de poder auditar os dados fornecidos pelas concessionárias. As informações referentes aos indicadores podem ser acessadas pelo consumidor, porém via *internet*, através do fornecimento de uma identificação do usuário e de uma senha.

Destaca-se que nenhuma informação é visualizada no próprio aparelho, impossibilitando assim sua consulta local pelo consumidor, pois o aparelho não processa, por si só, os cálculos necessários que permitem computar os indicadores de continuidade.

Além disso, o Argos é instalado no alto de postes da rede pública de distribuição de energia elétrica e, portanto, fora do alcance do consumidor. Outra desvantagem, do ponto de vista do consumidor, é que as datas e horários das faltas e retornos da energia, bem como os indicadores dos meses anteriores, também não são disponibilizados no aparelho.

Portanto, a despeito da sua importância para o órgão regulador, e até mesmo para um órgão fiscalizador, ele não se presta às necessidades diretas do consumidor.

Este sistema foi empregado experimentalmente pela ANEEL em passado recente, porém, de acordo com informação colhida na Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade – SFE, o Argos não é mais utilizado por aquela agência.

2.4.2 - Analisadores de qualidade da energia elétrica

Problemas de qualidade da energia elétrica englobam uma grande variedade de distúrbios no sistema elétrico. Eles incluem desde rápidos transitórios de sobretensão (na faixa de microssegundos), até interrupções de longa duração (na faixa de horas ou dias). Problemas de qualidade de energia também envolvem fenômenos em regime permanente, tais como distorções harmônicas, e fenômenos intermitentes, como *flicker*, por exemplo. Esta grande variedade de condições acarreta muita dificuldade na criação de procedimentos padronizados de medição, bem como no desenvolvimento de equipamentos [Dugan, *et al*, 1996], pois os mesmos devem ser integrados, ou seja, devem possibilitar a análise dos vários fatores que determinam a qualidade do suprimento em um só instrumento.

Portanto, os instrumentos utilizados na análise da qualidade de energia têm sido desenvolvidos com grande variação de funções, tamanho de memória, velocidade de aquisição de dados, precisão, etc. [UFU, 2004]. Tendo em vista os diversos distúrbios que devem monitorar, apresentam custos relativamente elevados, tipicamente USD$ 5.000,00 a mais de USD$ 10.000,00 [Eto, 2004].

Comercialmente conhecidos como analisadores de qualidade da energia, estes instrumentos incluem normalmente recursos para também registrar os parâmetros de continuidade no fornecimento da energia elétrica. A Figura 2.5 ilustra um desses instrumentos.

Figura 2.5 - Exemplo de instrumento analisador de qualidade de energia.
FONTE: RMS Sistemas Eletrônicos

Porém, por trata-se de instrumentos que incluem a medição de diversas grandezas elétricas, não são específicos para o monitoramento de interrupções no fornecimento de energia. São utilizados por profissionais qualificados e com treinamento especializado, sendo normalmente portáteis para instalação temporária a fim de avaliar a qualidade do fornecimento em pontos previamente estabelecidos para monitoração.

Estas características, portanto, tornam impraticável sua utilização direta pelo consumidor para o monitoramento contínuo e específico dos indicadores de continuidade.

Para que possam ser instalados de forma abrangente, é imprescindível que os instrumentos de monitoração apresentem baixo custo, pois de outra forma, fica inviabilizada a sua disseminação no sistema elétrico de potência [Eto, 2004].

2.4.3 - Medidores eletrônicos de energia ativa multifunção

Determinados medidores de energia elétrica possuem recursos que permitem o registro das datas e horários da falta e do retorno da energia [Nansen, 1997]. Estes medidores, contudo, são usualmente instalados pelas concessionárias na entrada de unidades consumidoras do

grupo A, ou seja, unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV.

Estas informações não são disponibilizadas localmente no mostrador do aparelho, porém, caso seja do interesse do consumidor, as mesmas podem ser solicitadas à concessionária, que disponibiliza o registro da memória de massa do equipamento, onde estão gravados estes dados. Apenas as interrupções de um ciclo de leitura são registradas, o que pode não coincidir com o mês civil e, portanto, sem valor comparativo com as metas dos indicadores mensais. Por outro lado, como o tamanho da memória do medidor para estes dados é limitado e, além disso, por tratar-se de uma memória cíclica, apenas as últimas interrupções são registradas, sendo possível então que determinadas ocorrências sejam sobrescritas. Vale citar ainda que, como estes medidores não são customizados para o atendimento à Resolução 024, interrupções com duração inferior a 3 minutos também são registradas.

De todo modo, como são instalados em unidades consumidoras de grande porte, somente a estes é dado o acesso ao registro das interrupções de energia por esse meio.

Vale acrescentar que certos medidores de energia elétrica possuem módulos denominados de qualidade de energia que possibilitam a apuração, o registro e a indicação, dentre outros, dos indicadores de continuidade individual DIC, FIC e DMIC. A exemplo dos analisadores de energia, estes medidores são relativamente caros, sendo especificados pelo ONS para medição de fronteira, ou seja, nos pontos de suprimento entre concessionárias, e em unidades consumidoras atendidas em alta tensão, e portanto, fora do alcance do consumidor atendido em média ou baixa tensão.

Cabe destacar ainda que a ANEEL, através do Procedimentos de Distribuição – PRODIST -[ANEEL, 2005], pretende monitorar as interrupções em unidades consumidoras atendidas em tensão secundária, utilizando medidores eletrônicos com memória de massa, sendo a leitura dessa memória efetuada pela concessionária. Apesar dessa metodologia ainda não se encontrar em vigor, está prevista a instalação desses medidores em apenas três circuitos secundários de cada circuito primário existente.

2.4.4 - Detectores de corte

Existe ainda no mercado, propaganda de dispositivos denominados popularmente como detectores de corte [Cahors, 2000], os quais se propõem a serem instalados no interior do domicílio pelo próprio usuário, sem a necessidade de qualquer tipo de ferramenta, pois são ligados diretamente a uma tomada de energia e à rede telefônica. Logo que ocorre uma interrupção de energia, o aparelho inicia a contagem do tempo decorrido desde o seu início. Caso a tensão retorne dentro de 3 minutos, o evento é desprezado. Caso contrário, o aparelho conecta-se à linha telefônica e disca um número programado para um determinado servidor. Logo que o servidor atende, o aparelho transmite a duração decorrida desde o início da interrupção e desliga. Quando a tensão retorna, o aparelho inicia a contagem do tempo desde o seu retorno e volta a ligar para o servidor, segundo os mesmos moldes descritos acima, e transmite o tempo decorrido desde a volta da tensão. Cabe ao servidor o cálculo da data e horário da interrupção e a sua duração.

Considerando que o desligamento da proteção geral da unidade consumidora, ou da proteção da tomada onde o aparelho se encontra ligado, será interpretado como falta de energia, este aparelho não se mostra adequado para o monitoramento das interrupções no fornecimento da rede pública de energia elétrica. Por outro lado, destaca-se novamente que as informações não são disponibilizadas localmente para conhecimento do usuário.

2.5 - CONCLUSÕES

Este capítulo mostrou, inicialmente, a necessidade do estabelecimento de indicadores que representem o real desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica, possibilitando assim a avaliação da qualidade do suprimento.

Foi incluído um histórico da evolução dos indicadores relacionados com a continuidade do fornecimento da energia elétrica, que representam a duração e a freqüência das interrupções, bem como destacado o importante papel da ANEEL na fixação de metas para esses indicadores e no estímulo à elevação dos níveis de qualidade do serviço prestado pelas concessionárias.

Foi apresentada uma síntese dos principais aspectos da Resolução 024/2000-ANEEL, por ser o principal documento, atualmente utilizado no setor elétrico brasileiro, que regulamenta as disposições relativas à continuidade do fornecimento da energia elétrica às unidades consumidoras.

Especial atenção foi dispensada aos indicadores de continuidade individual, por serem de fundamental importância para o desenvolvimento do presente trabalho.

Foi mostrado também o interesse e a necessidade do consumidor em verificar a qualidade de seu suprimento através do registro e visualização local dos indicadores de continuidade.

Por fim, foram apresentados os diversos equipamentos destinados à função de monitoramento da continuidade do fornecimento, destacando suas restrições para utilização direta pelos consumidores, particularmente os atendidos em tensão secundária de distribuição, o que leva a concluir pela necessidade do desenvolvimento de um aparelho que preencha essas limitações.

Com base no exposto, torna-se oportuno o desenvolvimento de um equipamento dedicado e de uso fixo que possibilite o monitoramento, registro e indicação local dos parâmetros de continuidade em unidades consumidoras de pequeno porte, ligadas diretamente em tensão secundária de distribuição, possibilitando assim o acompanhamento permanente dessas informações por parte do consumidor. Importa também que o aparelho se preste aos interesses da concessionária e do órgão regulador.

3 - REGISTRADOR DE INTERRUPÇÕES

3.1 - INTRODUÇÃO

O aparelho proposto no capítulo 2 deve possibilitar a detecção de toda falta no fornecimento da energia elétrica, efetuar o cálculo automático dos indicadores de continuidade individuais DIC, FIC e DMIC, e registrar ainda o quantitativo de interrupções de curta duração. Deve armazenar também, as datas e os horários de falta e retorno das últimas interrupções. Todas essas informações devem ser gravadas e visualizadas em um mostrador alfanumérico no próprio aparelho.

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar o desenvolvimento de um aparelho que se propõe a desempenhar as funções acima mencionadas, visando a sua posterior instalação em unidades consumidoras previamente escolhidas. Nesse sentido, inicialmente é dada uma visão geral da estrutura do aparelho, enfocando os aspectos funcionais de cada uma das partes que o compõem, para em seguida, dentro do contexto do projeto, detalhar as suas unidades integrantes.

Para desempenhar suas funções, o aparelho, denominado registrador de interrupções, deve ser instalado próximo ao padrão de entrada da unidade consumidora e eletricamente após o medidor de energia, pois seu consumo, por menor que seja, deve ser suportado pelo consumidor, supondo seja este o principal interessado pelas informações a serem disponibilizadas.

A Figura 3.1 ilustra o local onde deve ser instalação o aparelho, referenciado a um sistema elétrico de potência, deixando evidenciado que toda interrupção em qualquer parte do sistema é registrada pelo aparelho.

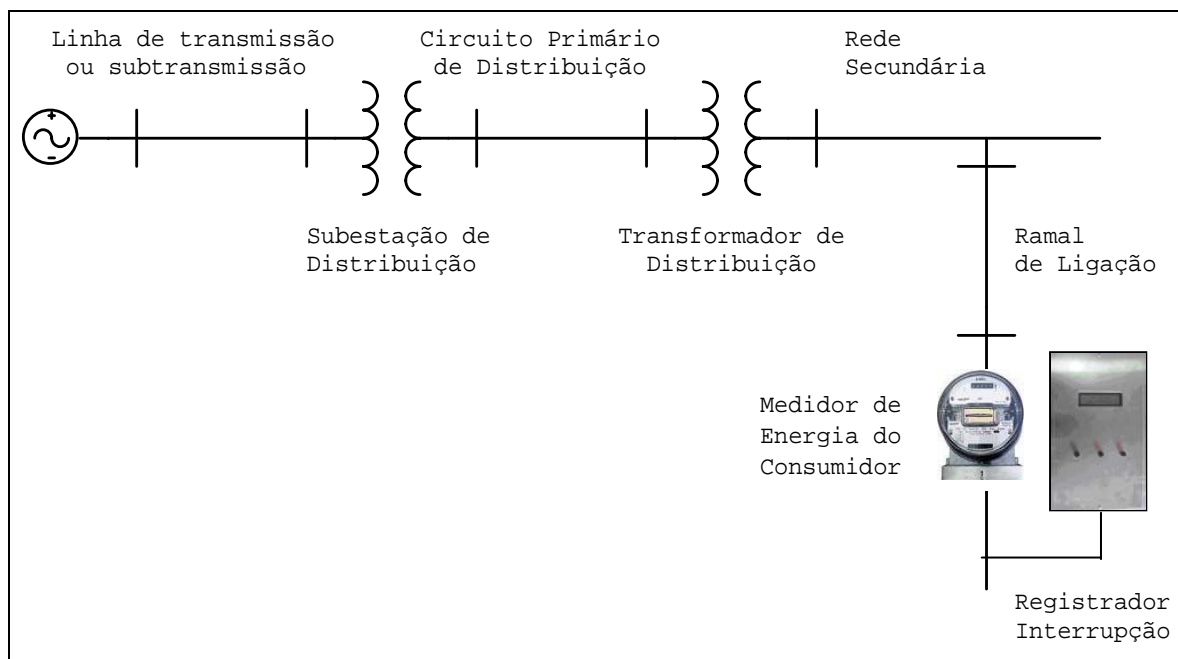



Figura 3.1 - Local de instalação do registrador de interrupções de energia.

Apesar deste trabalho enfocar unidades consumidoras ligadas em tensão secundária, nada impede que o mesmo aparelho seja instalado em unidades do Grupo A com o mesmo propósito. Admite-se, inclusive, sua instalação no lado de baixa tensão dos transformadores de distribuição, porém, neste caso, disponibilizando as informações para a concessionária local. Sabe-se, contudo, que as concessionárias têm buscado atualmente o monitoramento de diversos outros parâmetros de qualidade, que não somente a interrupção da energia elétrica [BEZERRA, *et al*, 2002].

3.2 - VANTAGENS DO REGISTRADOR

O registrador de interrupções, quando instalado na entrada de energia de unidades consumidoras, deve possibilitar a consecução dos benefícios tratados a seguir.

3.2.1 - Para o consumidor

Os benefícios para o consumidor são:

- Conhecer a qualidade do serviço prestado pela concessionária nos aspectos de continuidade do fornecimento;
- Conhecer as datas e horários de início e fim das interrupções; e

- Verificar possíveis violações dos indicadores de continuidade.

Opcionalmente, poderia ainda:

- Desligar automaticamente a carga durante a ocorrência de falta de uma ou mais fases;
- Religar automaticamente a carga somente após o restabelecimento adequado da tensão;
- Efetuar ligação telefônica automática após um período pré-programado de falta; e
- Acionar iluminação ou fonte de emergência.

3.2.2 - Para a concessionária

Os benefícios para a concessionária de distribuição de energia são:

- Avaliar a confiabilidade de seu sistema de apuração dos indicadores de continuidade; e
- Melhor conhecer o seu sistema através do registro real das interrupções.

3.2.3 - Para o órgão fiscalizador

Os benefícios para o órgão fiscalizador são:

- Avaliar a qualidade das informações prestadas pelas concessionárias;
- Conhecer a dispersão em torno dos indicadores médios do conjunto; e
- Conhecer o quantitativo de interrupções de curta-duração, ou seja, com duração inferior a 3 minutos, que as unidades consumidoras ficam submetidas.

Entende-se por órgão fiscalizador as agências reguladoras estaduais, os conselhos de consumidores e a própria ANEEL.

3.3 - REQUISITOS DO REGISTRADOR

Para atingir os benefícios esperados, o aparelho deve atender, pelo menos, os seguintes requisitos apresentados a seguir.

3.3.1 - Quanto aos indicadores calculados

Relativamente aos indicadores a serem calculados, o aparelho deve:

- Manter gravado, para consulta, os indicadores DIC, FIC e DMIC atuais e dos últimos 12 (doze) meses;
- Manter gravado, para consulta, os indicadores DIC e FIC trimestrais, indicando, separadamente, os valores para o trimestre corrente e para os últimos 4 (quatro) trimestres;
- Manter gravado, para consulta, os indicadores DIC e FIC anuais, indicando, separadamente, os valores para o ano corrente e para o último ano; e
- Manter gravado, para consulta, o número de interrupções de curta-duração do mês corrente e dos últimos 12 (doze) meses.

3.3.2 - Quanto aos limites dos indicadores

Relativamente aos limites a observar para os indicadores calculados, o aparelho deve:

- Possibilitar a visualização dos valores limites para os indicadores DIC e FIC mensal, trimestral e anual, bem como do indicar DMIC;
- Possibilitar a alteração dos valores limites dos indicadores DIC, FIC e DMIC, em conformidade com a legislação vigente; e
- Indicar a violação dos limites de qualquer indicador.

3.3.3 - Quanto à base de tempo

Relativamente à base de tempo, o aparelho deve:

- Possuir relógio e calendário de tempo real, que identifique anos bissextos;
- Possibilitar a verificação da data e horário atuais;
- Possibilitar ajuste do relógio e calendário de tempo real;
- Possibilitar mudança do relógio para "horário de verão" e vice-versa; e
- Manter a data e horário na ausência de tensão.

3.3.4 - Quanto às características técnicas

Relativamente a outras características técnicas igualmente importantes, o aparelho deve:

- Interpretar "falta de fase" como interrupção de energia;

- Identificar a operação do disjuntor do padrão de entrada para inibir o cálculo dos indicadores, nos casos em que esse disjuntor esteja instalado a montante do medidor de energia elétrica;
- Possuir proteção contra sobretensões e sobrecorrentes;
- Possuir isolamento galvânico entre a entrada de energia e o controle;
- Possuir alarme visual e sonoro para indicar falha na fonte de alimentação;
- Apresentar baixo consumo de energia;
- Monitorar interrupções de pelo menos 5 dias consecutivos; e
- Possibilitar comunicação externa.

Um aparelho concebido para computar interrupções no fornecimento de energia deve ainda:

- Ser resistente ao intemperismo, considerando que pode ser instalado ao tempo;
- Possuir categoria IV de suportabilidade a impulsos [ABNT, 2004] para permitir sua instalação na entrada de energia da unidade consumidora ou diretamente na rede secundária; e
- Atender às recomendações de normas referentes à compatibilidade eletromagnética.

3.4 - ESTRUTURA DO REGISTRADOR

Para a consecução dos requisitos anteriormente listados, os seguintes principais blocos, mostrados na Figura 3.2, devem compor o aparelho.

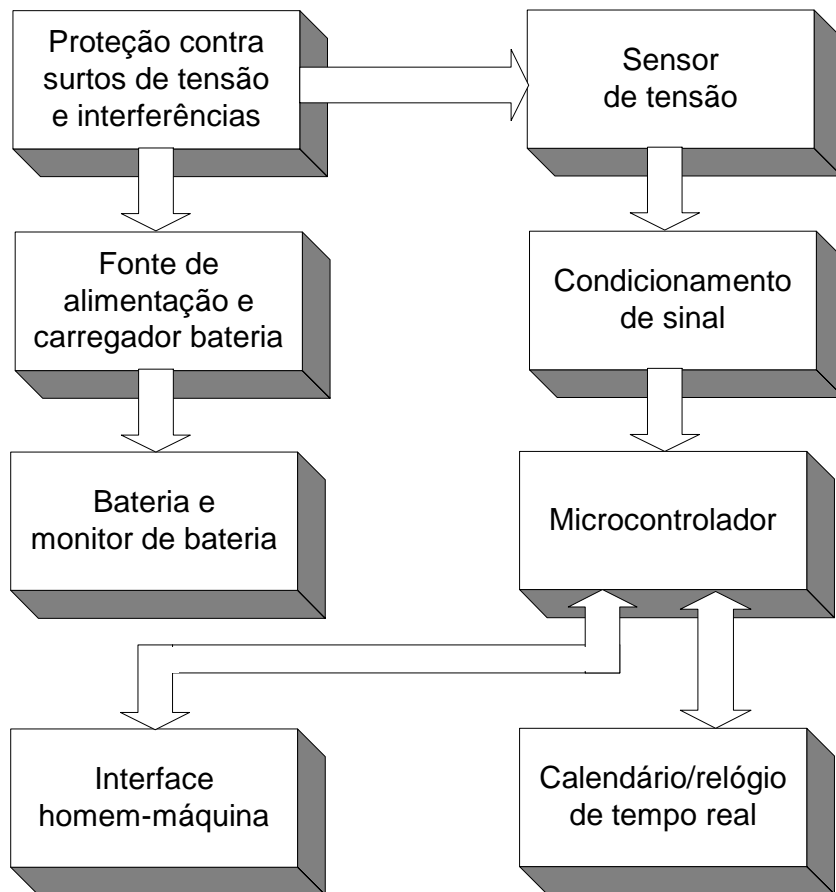



Figura 3.2 - Blocos componentes do registrador de interrupção de energia elétrica.

Uma síntese descritiva das funções exercidas por cada um desses blocos é apresentada a seguir.

3.4.1 - Bloco proteção contra surtos de tensão e interferências

Responsável pela proteção dos componentes do aparelho contra os danos provenientes de surtos de tensão conduzidos pela rede de distribuição, normalmente originados de descargas atmosféricas ou sobretensões de freqüência industrial. Responsável também pela proteção do aparelho contra interferências eletromagnéticas.

3.4.2 - Bloco fonte de alimentação e carregador de bateria

Responsável pela conversão da tensão de entrada para a tensão apropriada de funcionamento dos circuitos eletrônicos e pela carga adequada da bateria. Deve possuir proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

3.4.3 - Bloco bateria e monitor de bateria

Responsável em manter o aparelho em funcionamento na ausência de tensão da rede de distribuição, bem como em monitorar a tensão da bateria para impedir que um valor abaixo do limite considerado aceitável venha danificá-la irremediavelmente, impossibilitando assim a sua recarga posterior.

3.4.4 - Bloco sensor de tensão

Responsável em supervisionar a presença da tensão de fornecimento e acusar sua falta, caso a mesma se reduza a um valor previamente estipulado.

3.4.5 - Bloco interfaceamento de sinal

Responsável em promover isolamento galvânico entre o circuito supervisionado e o circuito de controle, além de adequar a tensão sob supervisão aos níveis compatíveis com os circuitos eletrônicos.

3.4.6 - Bloco microcontrolador

Responsável pela programação e lógica do aparelho, incluindo, entre outros, a execução dos cálculos dos indicadores de continuidade e o seu armazenamento para consulta posterior. É responsável também pelo registro das datas e horários das interrupções e do seu restabelecimento, além de viabilizar a comunicação externa via interface homem-máquina.

3.4.7 - Bloco calendário e relógio de tempo real

Responsável em manter a data e o horário atualizados, identificando as mudanças de meses e anos, inclusive os anos bissextos, evitando a utilização de recurso de computação do microcontrolador para essa finalidade.

3.4.8 - Bloco interface homem-máquina

Responsável em indicar visualmente as informações gravadas pelo microcontrolador, bem como pela introdução de parâmetros no mesmo.

3.5 - PROJETO DO REGISTRADOR

Na seqüência é feito um detalhamento de cada um dos blocos anteriormente citados.

3.5.1 - Fonte de alimentação

A fonte de alimentação tem por base uma fonte clássica com regulação linear, composta por transformador abaixador, uma ponte retificadora de onda completa, capacitores de filtro, capacitores de desacoplamento da fonte e um circuito integrado regulador de tensão com proteção incorporada contra sobrecorrente e sobretemperatura.

Para a adequada concepção da fonte, foi considerado que cerca de 80% das faltas em redes aéreas de distribuição de energia elétrica são devidas a curtos-circuitos monofásicos fase-neutro ou fase-terra [Costa, 2006], provocados principalmente por descargas atmosféricas, contatos de árvores com a rede, falhas em equipamentos, animais, vento, abalroamentos e vandalismos. Quando da ocorrência de um defeito desse tipo, as fases não afetadas podem sofrer níveis elevados de sobretensão entre fase-terra, submetendo os equipamentos, notadamente os equipamentos eletrônicos, a severas condições de operação. O valor da sobretensão resultante é uma função da configuração do sistema elétrico e do tipo de aterramento adotado [Mamede Filho, 1993].

No caso dos sistemas de distribuição com neutro efetivamente aterrado, largamente utilizado no Brasil e adotado pela CEB, a ocorrência desse tipo de curto-circuito pode elevar a tensão nos condutores sem defeito até o valor da tensão de linha, particularmente em faltas de alta impedância [Roeper, 1979]. Outras ocorrências, também não raras de sobrevir em redes aéreas de distribuição, podem fazer com que os circuitos fase-neutro sejam submetidos a sobretensões que podem atingir o valor da tensão entre fases. De acordo com [ABNT, 2004], essas ocorrências são:

- Perda do condutor neutro em esquema de aterramento TN de sistemas trifásicos, bifásicos e monofásicos a três condutores; e
- Curto-circuito bifásico em contato com a terra.

3.5.1.1 - Transformadores

Tendo em vista a necessidade de preservar a fonte de alimentação durante as ocorrências relatadas no item anterior, decidiu-se pelo emprego de dois transformadores monofásicos com tensões padronizadas de 220/24 V ligados em série, para utilização em rede com tensão fase-neutro de 220 V, conforme mostra a Figura 3.3. Dessa forma, uma elevação da tensão na entrada do aparelho para 380 V, ou seja, 73% superior à tensão nominal, ainda será inferior à tensão de 440 V que os transformadores, em conjunto, poderão suportar. Isso significa que a fonte estará protegida para as faltas mais comuns que podem ocorrer na rede de distribuição. Conforme será visto adiante, os protetores contra surtos de tensão podem não ser suficientes para proteger a fonte na presença de sobretensões na magnitude prevista em freqüência industrial.

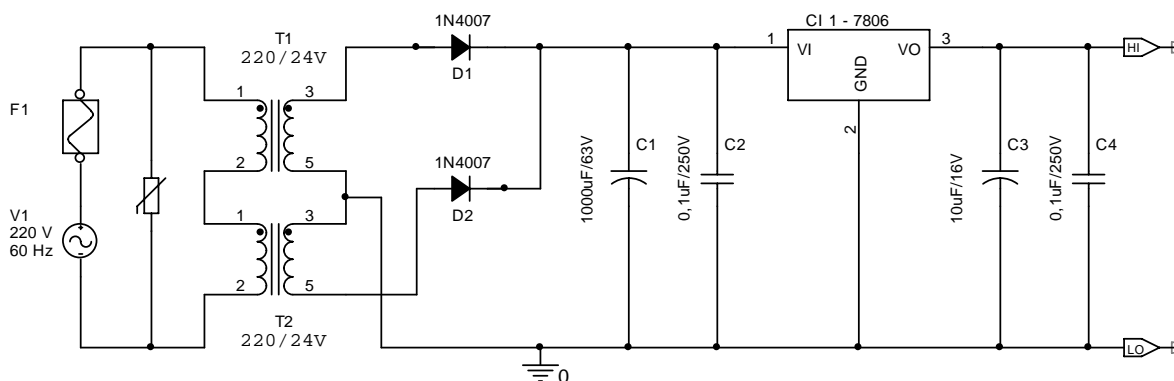



Figura 3.3 – Circuito da fonte de alimentação.

3.5.1.2 - Diodos

Os diodos que compõem o retificador, identificados como D1 e D2 na Figura 3.3, foram dimensionados de acordo com [Ciarcia, 1984], que considera as seguintes variáveis:

- A corrente inicial (conhecida também como corrente de partida da fonte);
- A corrente de carga; e

- A tensão de pico inverso.

Por atenderem aos requisitos necessários, os diodos escolhidos foram do tipo 1N4007 que possuem corrente nominal de 1 A e tensão de pico inverso de 1.000 V.

3.5.1.3 - Capacitores

Os capacitores de filtro e de desacoplamento da fonte, identificados respectivamente como C1 e C2 na Figura 3.3, foram dimensionados de acordo com [Ciarcia, 1984], que considera as seguintes variáveis:

- A corrente de carga;
- A tensão máxima que pode surgir no secundário do transformador da fonte; e
- A ondulação máxima de tensão admitida, que por sua vez é uma função da tensão mínima suportada pelo regulador de tensão.

Com base no exposto, o capacitor de filtro especificado é um capacitor eletrolítico de 1.000 μF com tensão nominal de 63 V. O capacitor de desacoplamento é um capacitor de poliéster de 0,1 μF e tensão nominal de 250 V. A tensão nominal desse capacitor pode ser idêntica ao capacitor de filtro, porém os capacitores de poliéster são mais fáceis de serem encontrados comercialmente para tensão de 250 V.

3.5.1.4 - Regulador de tensão

Pela sua praticidade, baixo custo, confiabilidade e facilidade de aquisição, optou-se pela utilização de um regulador de tensão integrado de referência 7806, identificado na Figura 3.3 como CI 1, que fornece em sua saída uma tensão regulada de 6 V. A faixa de tensão admitida na entrada desse CI é de 8 V a 35 V.

Os dois transformadores da fonte, ligados em série conforme proposto no item 3.5.1.1, desenvolverão uma tensão secundária em regime permanente de 12 V, necessária e suficiente para alimentar o regulador de tensão CI 1.

Na ocorrência de uma possível sobretensão de 380 V na entrada da fonte, os transformadores disponibilizarão no secundário uma tensão eficaz de 20,7 V.

Sabe-se que na retificação por onda completa, a tensão filtrada – Vc é dada por:

$$Vc = \sqrt{2} \times Vs - Vret \tag{3.1}$$

onde,
Vs refere-se ao valor eficaz da tensão secundária disponibilizada pelos transformadores da fonte; e
Vret refere-se à queda de tensão de aproximadamente 1 V nos diodos da ponte retificadora.

Quando a tensão Vs for de 20,7 V, tem-se Vc igual a 28,3 V, valor esse inferior aos 35 V suportados pelo CI 1, o que comprova que o mesmo não deve ser danificado durante a ocorrência de sobretensões que podem suceder no sistema de distribuição.

Por outro lado, quando a tensão na entrada do CI 1 corresponder ao valor mínimo admissível de 8 V, o valor da tensão eficaz secundária disponibilizada pelos transformadores da fonte (Vs), será:

$$Vs = \frac{Vc + Vret}{\sqrt{2}} \tag{3.2}$$

Considerando Vc igual a 8 V e Vret igual a 1 V, tem-se que Vs será de 6,4 V. Admitindo que a relação de transformação de 220/12 V seja mantida, a tensão eficaz secundária de 6,4 V corresponderá a uma tensão eficaz primária de 117,3 V. Isso significa que, mesmo na presença de uma queda de tensão de até 47% no sistema de distribuição, a fonte de alimentação permanecerá em funcionamento.

Os capacitores identificados como C3 e C4 na Figura 3.3 são indicados pelo fabricante do regulador de tensão para possibilitar seu perfeito funcionamento.

3.5.1.5 - Fusível

A entrada da fonte de alimentação foi protegida por fusível de vidro (F1) do tipo anti-transiente, capaz de suportar transitórios de corrente de curta duração sem se romper. Porém, interrompem o circuito sob condições de sobrecorrente sustentada. Esse fusível opera apenas no caso de defeito nos transformadores ou na ponte retificadora, uma vez que todo o circuito após o CI regulador de tensão já se encontra protegido pelo próprio CI.

Foi considerada a opção da utilização de fusível rearmável em substituição ao fusível de vidro, tendo em vista a sua vantagem em possibilitar o retorno automático da alimentação no caso de defeitos passageiros, evitando assim a sua substituição ou a inoperância do aparelho nesses casos; porém, comercialmente o mesmo é difícil de ser encontrado para tensão de 220 V ou superior, sendo mais comuns os modelos para tensão igual ou inferior a 60 V. Assim, manteve-se a opção do fusível de vidro, porém com a característica anti-transiente.

3.5.2 - Carregador de bateria

O carregador de bateria, mostrado na Figura 3.4, é composto pelo próprio regulador de tensão CI 1 e por um resistor limitador de corrente de carga R1, dimensionado de acordo com a referência [McComb, 2000]. Considerando que a corrente de carga da bateria NiCd utilizada não deve exceder a 100 mA [McComb, 2000], o resistor limitador de corrente especificado foi de 12,5 Ω x 1 W.

Para que a tensão de carga da bateria seja adequada e não prejudique sua vida útil, a mesma foi ajustada em 15% acima da tensão nominal da bateria, ainda de acordo com a mesma referência. Essa tensão é obtida com os 6 V disponibilizados pelo CI 1 e com a queda de 0,6 V provocada pelo diodo D3. Esse diodo impede ainda que a bateria forneça corrente á fonte de alimentação na ausência de tensão da rede.

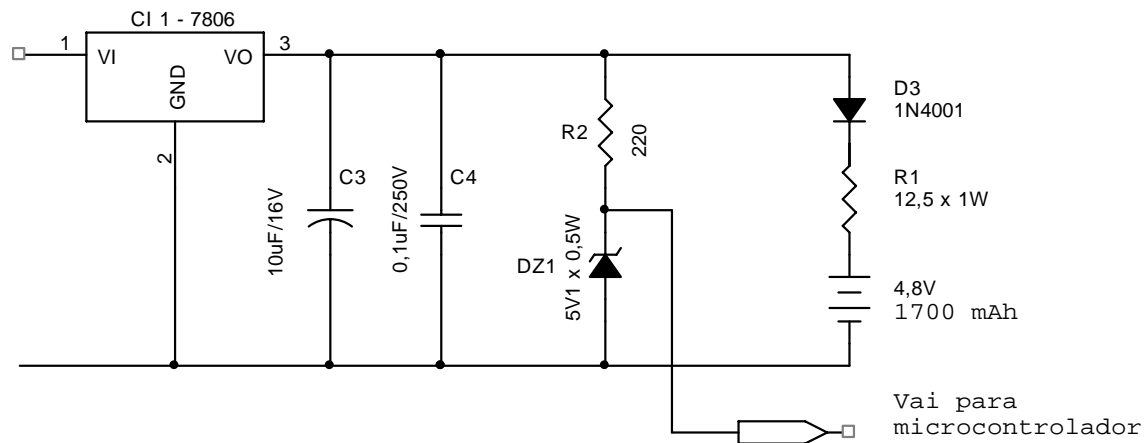



Figura 3.4 – Circuito do carregador de bateria com sensor de defeito da fonte.

Uma das portas de entrada do microcontrolador se encontra ligada ao cátodo do diodo zener DZ1, possibilitando dessa forma a verificação da tensão presente nesse ponto e, conseqüentemente, o estado da fonte de alimentação. Assim, qualquer defeito na fonte sensibiliza o microcontrolador, o qual indica esse evento com uma mensagem no mostrador de cristal líquido. Graças à presença da bateria, o monitoramento das interrupções não é prejudicado, caso a fonte apresente algum defeito.

3.5.3 - Bateria

Um equipamento apto a registrar interrupções no fornecimento de energia elétrica, sejam elas momentâneas ou de longa duração, deve manter a alimentação dos circuitos eletrônicos, mesmo durante a interrupção que está sendo monitorada. Para isso foi prevista a utilização de baterias convenientemente dimensionadas.

Devido à facilidade de aquisição aliada ao baixo custo, optou-se pela utilização de bateria recarregável do tipo NiCd, a qual exige uma tensão de recarga de cerca de 15% superior à sua tensão nominal [McComb, 2000]. Como o microcontrolador utilizado admite uma tensão máxima de alimentação de 5,5V [Microchip, 2005], a bateria escolhida foi de 4,8 V, correspondendo a 4 elementos NiCd de 1,2 V em série, pois sua tensão de recarga se ajusta à tensão máxima admitida para aquele componente eletrônico.

3.5.4 - Monitor de bateria

Como as baterias recarregáveis não podem ter sua tensão reduzida a valores inferiores a determinados limites sob pena de provocar danos irreversíveis às mesmas e impossibilitar sua recarga posterior, foi adicionado um circuito para monitorar essa tensão na ocorrência de uma falta de energia por período prolongado no sistema elétrico. Por meio de um divisor resistivo representado por R4 e P1 na Figura 3.5, uma amostra da tensão da bateria é levada a uma entrada analógica do microcontrolador. A tensão estabilizada necessária ao funcionamento do conversor analógico/digital vem de um circuito integrado de referência de tensão LM285 (CI 2), que apresenta baixo consumo de corrente e operação precisa e estável ao longo do tempo.

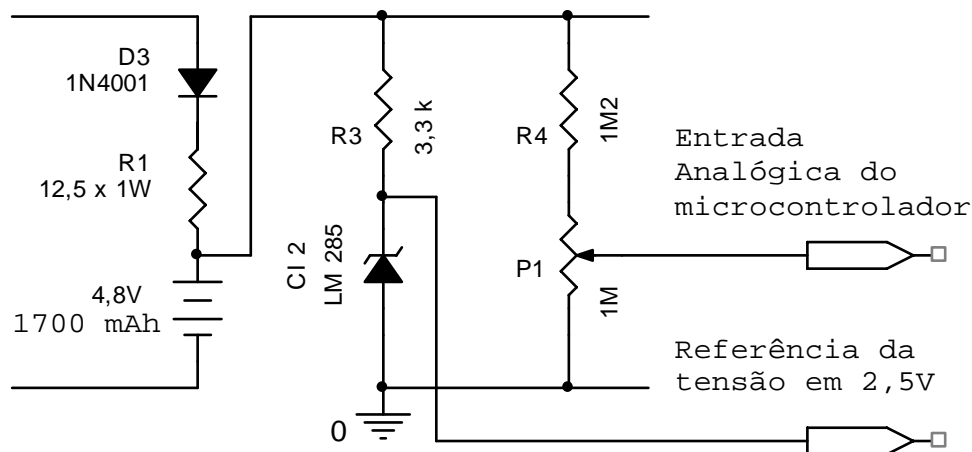



Figura 3.5 – Circuito do monitor de tensão da bateria.

Para evitar o consumo desnecessário de corrente da bateria pelo divisor resistivo quando a mesma apresentar tensão baixa, esse módulo é colocado após o relé de estado sólido, responsável em desligar a bateria quando sua tensão atinge o limite mínimo aceitável, conforme será visto adiante. O monitoramento da bateria só é efetuado pelo microcontrolador quando não há tensão na fonte de alimentação.

A maioria das baterias é considerada “morta” quando a tensão chega a 80% da sua tensão nominal [McComb, 2000]. Assim sendo, no caso de uma bateria de 4,8 V, utilizada no presente projeto, sua tensão não pode ser inferior a 3,84 V. Por medida de segurança e considerando ainda que a tensão mínima de funcionamento do microcontrolador escolhido é de 4,0 V, esta foi a tensão limite admitida para a bateria. Caso esse valor seja atingido, o

programa residente no microcontrolador leva a nível baixo uma de suas saídas digitais que, passando pelo resistor R3, provoca o desligamento do relé de estado sólido de referência AQV212 (CI 3) e o conseqüente corte da corrente do circuito, conforme mostra a Figura 3.6.

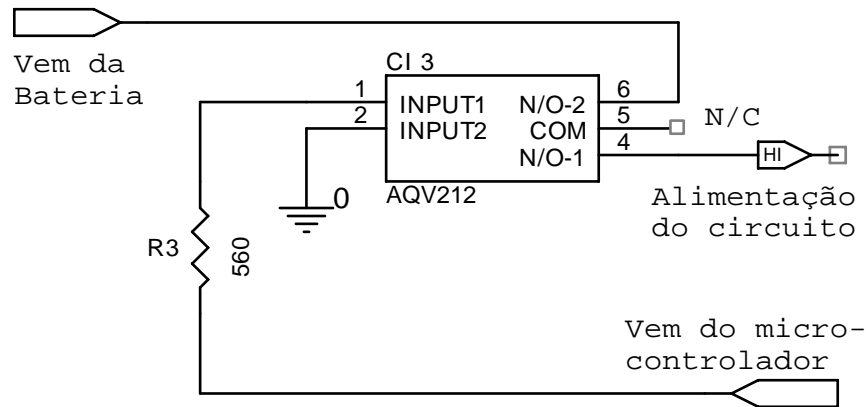



Figura 3.6 - Circuito responsável em ligar e desligar a bateria.

Considerando que a bateria não atingirá sua descarga máxima de 3,84 V, uma vez que a tensão mínima admitida é limitada em 4,0 V, na prática sua autonomia será um pouco inferior ao valor teórico calculado no item 4.2.

3.5.5 - Proteção contra surtos de tensão

Sabe-se que o sistema elétrico de potência está sujeito a sobretensões causadas por operações de manobra, curtos-circuitos monofásicos e descargas atmosféricas, dentre outros, as quais podem destruir equipamentos eletrônicos. Como o aparelho proposto deve ser instalado na entrada de energia da unidade consumidora, logo após o medidor de energia elétrica, o mesmo estará exposto a essas sobretensões, sendo necessário, portanto, dotá-lo de proteção adequada.

Devido às suas características de elevada capacidade de descarga de corrente, rápida resposta a transitórios de tensão e alta confiabilidade [Schimanski, 2005], decidiu-se pela instalação de varistores com as características técnicas mostradas na Tabela 3.1. A utilização de varistores de 40 kA, além de não onerar demasiadamente o projeto, eleva sua expectativa de vida útil.

Tabela 3.1 - Principais características dos varistores.

Parâmetros	Valores	Unid.
Máxima tensão RMS a 25°C	275	V
Mínima tensão no varistor para 1mA de pico	387	V
Tensão de *clamping*	710	V
Máxima corrente de pico 8x20μs	40000	A
Máxima capacidade de dissipação de energia	560	Joule
Diâmetro	40	mm

Conforme pode ser observado, a tensão de *clamping* é bem superior à tensão máxima de 380 V em freqüência industrial que o aparelho poderá ficar submetido, sendo demonstrado assim que esses dispositivos não são adequados para a proteção contra sobretensões dessa magnitude, motivo pelo qual foi exigido o sobredimensionamento do transformador da fonte de alimentação.

Por outro lado, caso o varistor seja submetido a uma sobretensão sustentada anormalmente elevada, porém abaixo da sua tensão de *clamping*, ele pode sobreaquecer e até mesmo se incendiar. Esse fato justifica a especificação de dispositivos com tensão mínima, para corrente de fuga de 1 mA, superior a 380 V, pois esta é a maior tensão sustentada esperada na operação do sistema secundário de distribuição. Essa característica, porém, acarreta a especificação de varistor com tensão de *clamping* também elevada. Para reduzir então a sobretensão prevista a valores compatíveis com a suportabilidade dos componentes eletrônicos do aparelho, prevê-se também a instalação de supressores de transitórios de tensão, tanto na proteção da fonte de alimentação quanto nos sensores de tensão.

De todo modo, como medida adicional de segurança, prevê-se que, numa versão futura do aparelho, os varistores sejam providos de proteção térmica associada a uma sinalização para indicar sua falha, caso ela ocorra, conforme sugere a Figura 3.7.

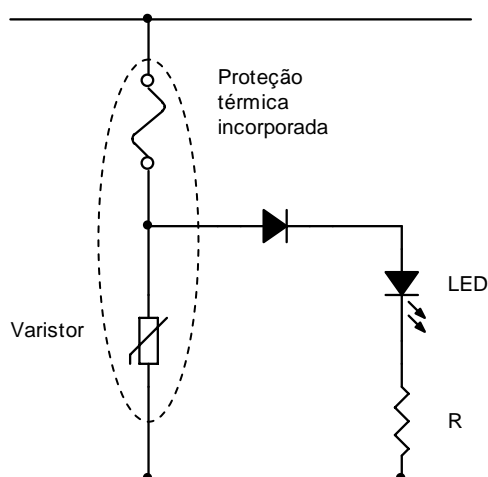



Figura 3.7 - Proteção térmica para varistor com indicação luminosa.

Como o ponto de instalação do aparelho é considerado de elevada exposição a surtos de tensão [ABNT, 2004], a proteção efetuada apenas por varistores pode não ser suficiente. Assim sendo, propõe-se que a instalação desse aparelho seja precedida da instalação de pára-raios de resistência não-linear situados na origem da instalação (sendo um pára-raios por fase) com corrente nominal de descarga não inferior a 5 kA, conforme prescreve a referência citada. Instalados dessa forma, os condutores situados entre esses pára-raios e o aparelho poderão atuar como uma impedância de desacoplamento, favorecendo assim a coordenação entre esses dois dispositivos de proteção.

Digno de nota o fato de algumas concessionárias no Brasil, como é o caso da CEB, já preverem em suas normas técnicas a necessidade da instalação de pára-raios nos padrões de entrada de energia de seus clientes, sugerindo inclusive a forma e o local da instalação desses dispositivos, como ilustra a Figura 3.8 [CEB, 2003].

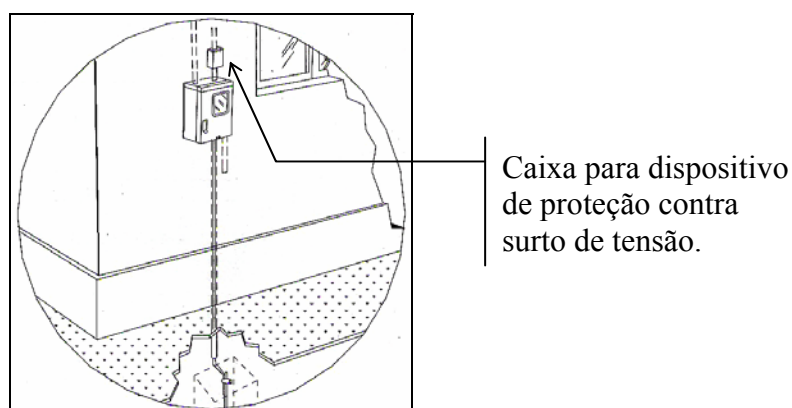



Figura 3.8 - Exemplo de dispositivo de proteção na entrada de energia.

3.5.6 - Proteção contra interferências

Como forma de reduzir a possibilidade de interferências eletromagnéticas sobre os componentes do equipamento, o mesmo foi acondicionado em uma caixa metálica para agir como blindagem [Mamede, 1997]. Por outro lado, a proximidade do equipamento com o sistema de aterramento do padrão de entrada da unidade consumidora possibilita e facilita a utilização de um condutor de proteção PE a partir desse aterramento para equipotencializar a caixa de acondicionamento, seguindo assim o esquema do sistema TN-S, considerado o mais adequado para a proteção de equipamentos eletrônicos sensíveis [Mamede, 1997].

3.5.7 - Sensor de tensão

Para o projeto do sensor de tensão, foi necessária a realização de ensaios em laboratório que pudessem fornecer o correto nível de tensão em que esse elemento deve ser sensibilizado, chamado aqui de tensão de disparo. O projeto contemplou também a melhor forma de prover proteção contra danos provenientes de sobretensões.

3.5.7.1 - Tensão de disparo

Ao definir interrupção de energia como a descontinuidade do neutro ou da tensão disponível em qualquer uma das fases de um circuito elétrico que atende a unidade consumidora [ANEEL, 2000], o órgão regulador pretende que a abertura monopolar de um dispositivo de proteção ou manobra no sistema de distribuição trifásico seja considerada como uma interrupção. Isso porque a utilização da energia ficou efetivamente prejudicada.

Portanto, a tensão residual remanescente no circuito secundário de um transformador de distribuição trifásico, resultante da abertura de uma ou duas chaves fusíveis de proteção primária, deve ser interpretada como interrupção de energia para efeito de contabilização dos indicadores de continuidade. Isso significa que o sensor de tensão deve ser sensibilizado não só na ausência de tensão, mas também na falta de fase no sistema elétrico. Este conceito difere, portanto, daquele utilizado pelos organismos que têm padronizado os termos relacionados com a qualidade da energia, tais como IEC e IEEE, que consideram interrupção de energia como a redução no valor eficaz da tensão de

alimentação, em todas as fases do sistema, para valores inferiores a 10% da tensão nominal da barra considerada [Dugan, *et al*, 1996].

Objetivando mensurar a magnitude da tensão remanesceste na rede secundária por ocasião da falta de fase no sistema primário de distribuição, procedeu-se a ensaios em laboratório onde alguns transformadores de distribuição trifásicos foram submetidos a desligamentos monopolares e bipolares no lado da alta tensão (AT), ao tempo em que as tensões secundárias (BT) entre fase e neutro foram devidamente registradas. A Tabela 3.2 a seguir traz um resumo do resultado desses registros, cujos detalhes constam no Apêndice A.

Tabela 3.2 - Tensões remanescentes na BT quando da falta de uma fase na AT.

Potência (kVA)	Maior tensão fase-neutro remanescente(*)
15	158 V
75	146 V
150	139 V

(*) Excetua-se a fase sem defeito.

Os ensaios foram realizados com o transformador em vazio. Com o transformador submetido a algum carregamento, a queda de tensão na sua impedância interna provocará uma redução ainda maior nos valores aqui encontrados. Espera-se, portanto, que na situação real a tensão remanescente seja algo inferior a 158 V. De todo modo, por precaução, adotou-se o valor de 170 V como o valor limite abaixo do qual considera-se que houve interrupção no fornecimento da energia elétrica. No presente trabalho, essa tensão limite é chamada de tensão de disparo, a qual será útil no ajuste da sensibilidade do sensor de tensão do aparelho. Propositadamente, o valor adotado de 170 V é inferior à tensão considerada precária de 189 V [ANEEL, 2001a], para que uma queda de tensão acentuada no sistema de distribuição não seja interpretada como uma interrupção do fornecimento.

3.5.7.2 - Sensibilidade a afundamentos de tensão

Afundamento momentâneo de tensão é uma redução no valor eficaz da tensão de alimentação, em uma ou mais fases do sistema, para valores entre 90% e 10% da tensão nominal da barra considerada, com duração entre ½ ciclo e 1 minuto [Dugan, *et al*, 1996].

Pelo conceito dado à tensão de disparo, é provável que eventos de afundamentos de tensão sejam capazes de sensibilizar o aparelho. Isso porque, considerando a relação de transformação de 13.800 V/380 V utilizada nos transformadores de distribuição da CEB, a tensão de disparo ajustada em 170 V corresponderá a uma tensão primária de 10.693 V, o que representa um afundamento de tensão de 22 %. Isso significa que afundamentos a partir dessa magnitude poderão ser capturados e registrados pelo aparelho.

3.5.7.3 - Concepção do sensor

O sensor de tensão que se mostrou adequado ao propósito pretendido se baseia em um divisor resistivo-capacitivo em série com uma ponte retificadora monofásica de onda completa conforme mostrado na Figura 3.9. O divisor se encarrega de reduzir a tensão de entrada, enquanto o retificador leva essa tensão atenuada em nível contínuo para o próximo bloco, responsável pela isolação galvânica e condicionamento do sinal.

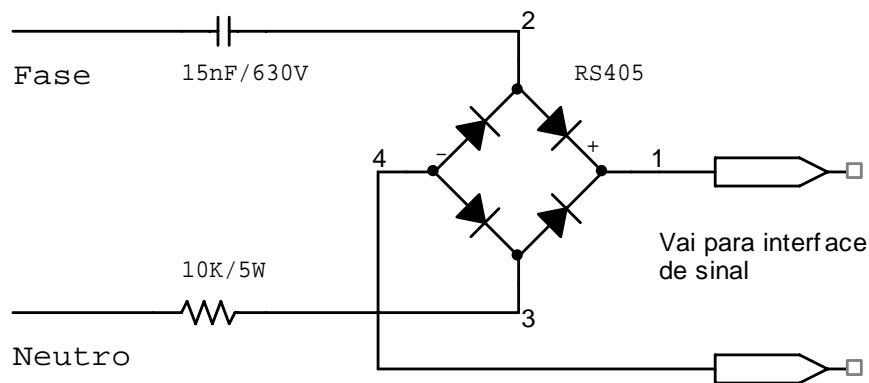



Figura 3.9 - Circuito do sensor de tensão.

Um divisor apenas resistivo atenderia o mesmo propósito, porém, optou-se pelo divisor resistivo-capacitivo devido ao menor consumo de energia ativa que essa solução apresenta. Por outro lado, um divisor apenas capacitivo apresentaria um consumo de energia ainda menor, porém, com a desvantagem de exigir uma corrente relativamente elevada durante sua energização, a qual pode ser superior à capacidade de corrente do acoplador óptico utilizado na isolação galvânica, comprometendo assim sua integridade, motivo pelo qual essa alternativa não foi adotada.

3.5.7.4 - Proteção do sensor

Considerando que falhas na ponte retificadora e no acoplador óptico podem ser interpretadas como interrupção de energia, foram acrescentados protetores especiais contra sobretensões para proteger esses semicondutores. Trata-se de supressores de transitórios de tensão (TVS) extremamente rápidos (alguns nanosegundos), com baixa tensão de *clamping* (tipicamente entre 2 e 200 V) e elevada vida útil, sendo ainda bidirecionais, ou seja, adequados para proteção contra surtos provenientes de qualquer direção e, portanto, próprios para circuitos de corrente alternada.

A Figura 3.10 destaca a localização desse dispositivo, identificado como TVS, mostrando ainda a instalação do varistor citado no item 3.5.5.

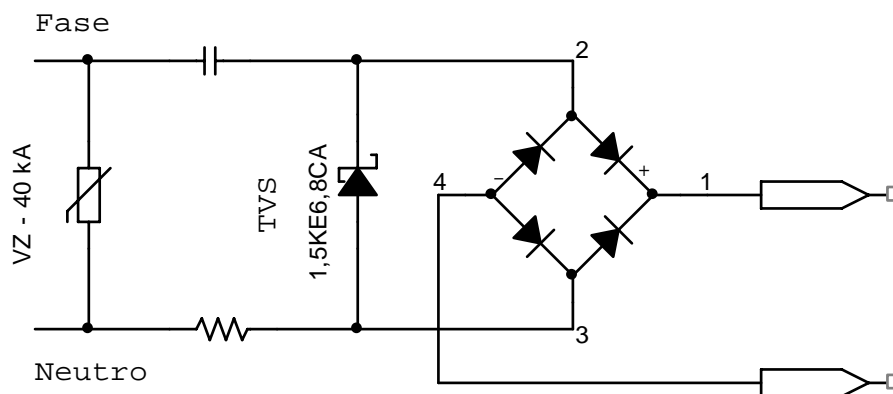



Figura 3.10 - Protetores contra sobretensões com TVS e varistor VZ.

Essa proteção se torna necessária devido ao fato de que muitos dispositivos semicondutores podem ser danificados por distúrbios de tensão que excedam a apenas 20 V, e sua sobrevivência em ambientes desprotegidos é extremamente curta [ON Semiconductor, 2001].

Apesar desses supressores não serem recomendados para redes de grande potência de curto-circuito por possuírem baixa capacidade de dissipação, com correntes normalmente inferiores a 500 A, a presença da impedância à montante da sua instalação, representada pelo capacitor e pelo resistor, possibilita assegurar sua efetividade na proteção a que se propõe.

Os supressores de transitórios de tensão adotados nesta implementação possuem as características técnicas dadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Principais características dos TVS.

Parâmetros	Valores	Unid.
Máxima tensão RMS a 25°C	5	V
Tensão de *clamping*	7,5	V
Máxima corrente de pico 8x20µs	100	A
Máxima capacidade de dissipação de energia	1500	W

3.5.8 - Interfaceamento de sinal

Os sinais elétricos de tensão a serem monitorados pelo aparelho apresentam níveis elevados e incompatíveis com os limites máximos suportados pelos seus diversos circuitos eletrônicos. A compatibilidade requerida pode ser obtida através da inserção de um bloco de interfaceamento que, no presente projeto, é representado pelo acoplador óptico CI 4, mostrado na Figura 3.11.

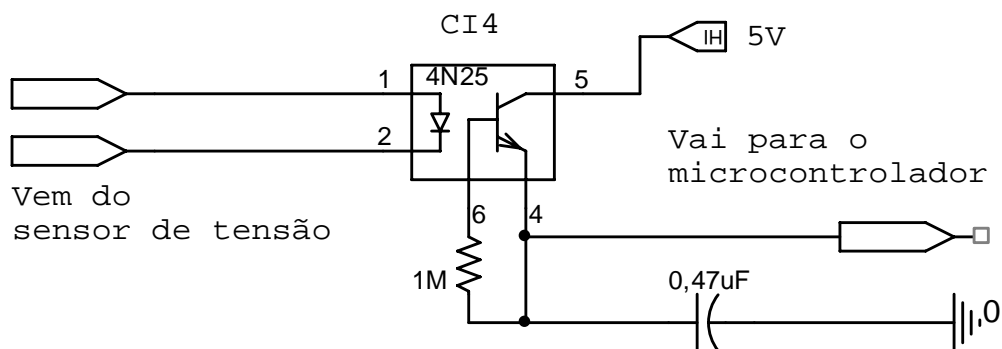



Figura 3.11 - Circuito de interfaceamento de sinal.

Além de prover um isolamento elétrico entre a sua entrada e a sua saída, ele disponibiliza um sinal digital na saída, representado por um nível lógico alto ou baixo, dependendo do valor da tensão presente nos sensores.

Dessa forma, uma tensão na entrada dos sensores com valor inferior à tensão de disparo, provoca uma mudança no nível lógico na saída do acoplador óptico, o qual irá sensibilizar o microcontrolador. A Tabela 3.4 apresenta os dados técnicos desse componente.

Tabela 3.4 - Principais características do acoplador óptico.

Parâmetros	Valores	Unid.
Tensão de isolamento entre entrada e saída na freqüência industrial durante 1 s	7500	V
Tensão de isolamento entre entrada e saída na freqüência industrial durante 1 minuto	5300	V
Resistência de isolamento	10^{11}	Ω
Tensão direta de entrada (para corrente contínua de 10 mA)	1,18	V
Corrente contínua máxima	60	mA
Tensão de entrada reversa	6	V

3.5.9 - Microcontrolador

Há uma grande variedade de microcontroladores comercialmente disponíveis na atualidade. Não é feita aqui qualquer comparação entre os diversos tipos de um mesmo fabricante, e nem mesmo entre os vários fabricantes. Antes, contudo, é focado aquele considerado adequado para o presente projeto, levando em conta os seguintes aspectos:

- Baixo custo;
- Baixo consumo de energia;
- Fácil aquisição; e
- Possibilidade de utilização de uma linguagem de programação de alto nível e fácil implementação.

Trata-se do microcontrolador denominado PIC16F876, fabricado pela empresa americana *Microchip Technology*, que possui representação no Brasil. Esse microcontrolador possui as seguintes principais características [Microchip, 2003]:

3.5.9.1 - Características da CPU e memórias

A CPU e as memórias possuem as seguintes principais características:

- CPU RISC com arquitetura Harvard;
    - Conjunto de apenas 35 instruções;
    - Instruções executadas em um único ciclo de *clock*, exceto para instrução de desvio.

- Velocidade de operação de até 20 MHz (ou 200 ns por instrução);
- Memória de programa tipo *Flash* de 8K com palavras de 14 bits;
    - Suporta 100.000 ciclos de escrita/apaga;
    - Suporta programação *in-circuit*.
- Memória de dados tipo RAM de 368 *bytes*;
- Memória de dados tipo EEPROM de 256 *bytes*.
    - Suporta 1.000.000 de ciclos de escrita/apaga;
    - Retêm dados por período superior a 40 anos.

3.5.9.2 - Periféricos embutidos

Os periféricos incorporados no microcontrolador são os seguintes:

- 3 temporizadores;
- 2 comparadores analógicos;
- 2 módulos PWM;
- 1 módulo USART;
- 2 portas seriais síncronas, podendo operar no modo I^2C;
- 5 canais para conversão analógico-para-digital de 10 bits, com tensão de referência ajustável;
- 14 fontes de interrupções;
- 3 portas bidirecionais, totalizando 22 pinos configuráveis individualmente como entrada ou saída, com as características apresentadas na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Principais características das portas de entrada e saída.

DENOMI-NAÇÃO	Nº DE PINOS	FAMÍLIA LÓGICA	NÍVEL LÓGICO 0	NÍVEL LÓGICO 1
PortA	6	TTL	≤ 0,8 V	2 a 5 V
PortB	8	TTL	≤ 0,8 V	2 a 5 V
PortC	8	*Schmitt Trigger*	≤ 1 V	4 a 5 V
Capacidade de corrente: 25mA				

3.5.9.3 - Características especiais

Adicionalmente, o microcontrolador possui as seguintes características:

- Código de proteção programável;
- Modo de economia de energia;
- Baixo consumo de energia;
- Larga faixa de tensão de operação (2,0 V a 5,5 V);
  (O modelo em particular utilizado no presente projeto pode operar de 4,0 V a 5,5 V)
- Várias opções de osciladores;
- *Reset* programável por *Brown-out;* e
- W*atchdog timer.*

Diferentemente da arquitetura Von Neumann, a arquitetura Harvard prevê várias vias de comunicação entre a CPU e periféricos, permitindo assim a realização de várias operações simultâneas, o que implica em aumento considerável na velocidade de execução do programa, característica importante para o presente projeto. Essa arquitetura permite ainda que as memórias de dados e programa tenham tamanhos diferentes. No PIC16F876, os dados são de 8 bits e as instruções de 14 bits. A Figura 3.12 ilustra a diferença básica entre as duas arquiteturas.

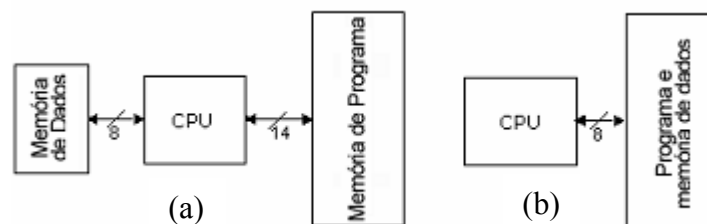



Figura 3.12 - Arquiteturas de microcontroladores.
(a) Harvard e (b) Von Neumann.

A Figura 3.13 mostra a pinagem do PIC16F876, sendo que a descrição de cada pino, juntamente com o significado da denominação utilizada, pode ser obtida na referência anteriormente citada. Observa-se que alguns pinos são multiplexados com uma função alternativa.

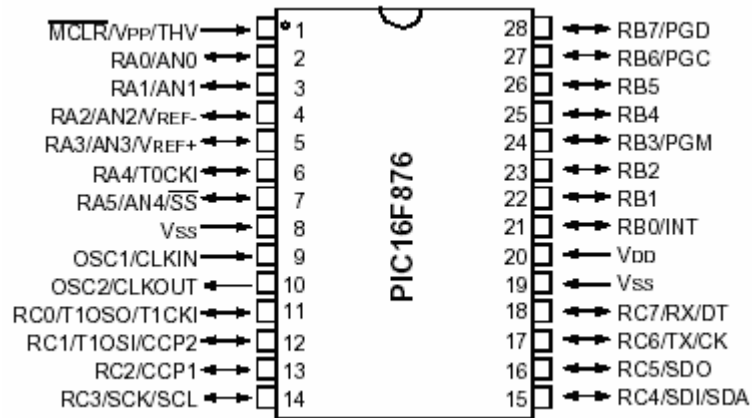



Figura 3.13 - Pinagem do PIC16F876.

O PIC16F876 é fornecido em diversos tipos de encapsulamentos, sendo que no presente projeto foi escolhido o encapsulamento PDIP (*Plastic Dual In-line Package*) de 28 pinos, mostrado na Figura 3.14, devido à maior facilidade de montagem, tanto em uma matriz de contato, para o desenvolvimento do protótipo, quanto em placa de circuito impresso, para a versão final.

Figura 3.14 - Exemplo de PIC16F876 em encapsulamento PDIP de 28 pinos.

3.5.10 - Calendário e relógio de tempo real

Denominado freqüentemente na literatura técnica como RTC (*Real Time Clock*), trata-se de um circuito integrado dedicado à função de relógio e calendário, onde os dados são transferidos, via comunicação serial no modo I^2C, a um barramento de duas linhas bidirecionais.

O modelo adotado de referência DS1307, fabricado pela Dallas Semiconductor, fornece informações dos segundos, minutos, horas, dia, mês e ano, no formato BCD e apresenta

baixo consumo de energia. Possui capacidade de reconhecer os meses com menos de 31 dias e inclusive anos bissextos.

Possui ainda um circuito sensor interno que detecta falha na alimentação principal e automaticamente passa a ser alimentado pela bateria de retaguarda de 3,5 V do tipo *lithium* de 35 mAh. Essa bateria garante o funcionamento do RTC por até 10 anos na ausência da alimentação principal [Dallas, 2003].

Seu funcionamento exige a conexão de um cristal de quartzo com freqüência de 32,768 kHz (X1) e sua tensão de operação pode variar de 4,5 V a 5,5 V.

A Figura 3.15 mostra a forma de ligação do RTC.

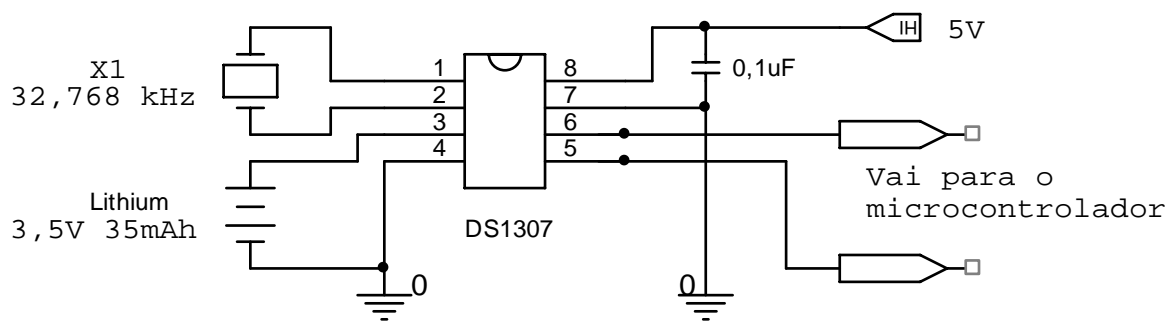



Figura 3.15 - Circuito do RTC.

O CI DS1307 possui o mesmo encapsulamento do microcontrolador, ou seja, tipo PDIP, porém com 8 pinos, conforme mostra a Figura 3.16, sendo que a descrição de cada pino, juntamente com o significado da denominação utilizada, pode ser obtida na referência anteriormente citada.

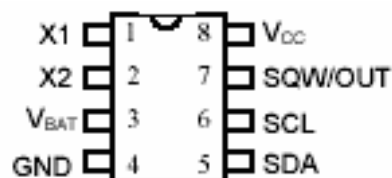



Figura 3.16 - Pinagem do DS1307.

3.5.11 - Interface homem-máquina

A comunicação do aparelho com o usuário é efetuada através de um mostrador de cristal líquido e um pequeno alto-falante, funcionando estes como interfaces de saída. Como interfaces de entrada são utilizados 3 botões tácteis NA (normalmente aberto).

3.5.11.1 - Interface de saída

O mostrador, mais conhecido como LCD (*Liquid Crystal Display*), é um *diplay* de cristal líquido alfanumérico de 2 linhas por 16 colunas, tendo por base o módulo controlador da Hitachi HD44780 mostrado na Figura 3.17.

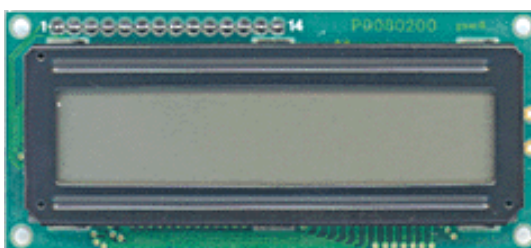



Figura 3.17 - Foto ilustrativa do LCD utilizado.

Esse tipo de LCD possui 14 pinos e pode ser conectado ao microcontrolador através de um barramento de dados de 4 ou 8 bits, sendo que no presente projeto o mesmo foi configurado para operar no modo de 4 bits. Sua tensão de alimentação pode variar de 4,5 V a 5,5 V. Por meio do LCD é possível visualizar todas as informações que o aparelho se propõe a apresentar. A Tabela 3.6 descreve a pinagem desse componente.

Tabela 3.6 - Identificação dos pinos do LCD.

Nº DO PINO	SÍMBOLO	FUNÇÃO
1	GND	Terra
2	Vdd	Tensão de alimentação positiva
3	Vo	Ajuste do contraste
4	RS	Habilita entrada de dados ou de comando
5	R/W	Leitura/Escrita
6	E	Habilitação do LCD
7 a 14	DB0 a DB7	Pinos de dados DB0-DB7 para operação no modo de 8 *bits* DB4-DB7 para operação no modo de 4 *bits*

O alto-falante é constituído por um transdutor piezelétrico cerâmico e utilizado para emitir um sinal audível sempre que um botão for pressionado para indicar que o microcontrolador reconheceu a ação. Funciona ainda como alarme sonoro, por tempo limitado, no caso da fonte de alimentação do aparelho apresentar algum defeito.

3.5.11.2 - Interface de entrada

Os botões são utilizados para visualizar no LCD, seqüencialmente, valores registrados para os indicadores DIC, FIC, e quantidade de interrupções de curta-duração, tanto para o mês em curso quanto para os últimos doze meses, além da data e horário atuais. Possibilitam também a visualização das informações referentes às datas e horários de início e fim das últimas interrupções de energia, iniciando pelas ocorrências mais recentes.

Esses botões são utilizados ainda para introduzir, no microcontrolador, os valores limites dos indicadores de continuidade e para ajustar a data e horário atuais.

3.5.12 - Circuito eletrônico completo

A placa de circuito impresso do registrador de interrupções foi desenhada pela empresa Pextron Controles Eletrônicos Ltda de São Paulo, especializada na fabricação de relés microprocessados utilizados em proteção de sistemas elétricos de potência. Essa experiência garantiu a confecção de uma placa de qualidade industrial, *lay-out* otimizado e resistente a interferências normalmente presentes no ambiente onde a mesma será empregada. Em especial, foi previsto um plano de "terra" em torno do microcontrolador, bem como em torno do cristal responsável pela precisão do RTC. Seguindo recomendação do fabricante do cristal, seu encapsulamento metálico foi ligado ao "terra".

Por indicação da Pextron, a placa foi fabricada em fibra de vidro pela empresa JandiPress Eletrônica, também de São Paulo, mede 110 mm x 164 mm e possui impressa a máscara dos componentes.

Na Figura 3.18 é apresentada a foto ilustrativa da placa eletrônica montada com os componentes do registrador de interrupção de energia elétrica, sendo que o esquema eletrônico do circuito completo se encontra no Apêndice B.

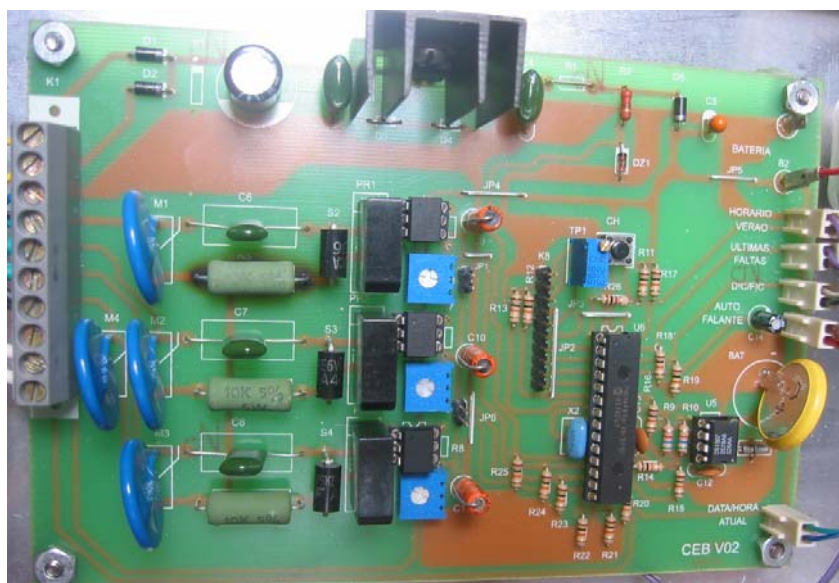



Figura 3.18 - Foto ilustrativa da placa de circuito impresso com os componentes.

O custo da confecção do protótipo foi de R$ 230,00 (duzentos e trinta reais), incluindo os componentes eletrônicos, a placa de circuito impresso, a caixa de acondicionamento e a mão-de-obra de montagem. Estima-se que esse custo pode ser sensivelmente reduzido, caso o aparelho venha a ser produzido em maior escala.

3.6 - PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DAS INTERRUPÇÕES

Uma vez apresentada a estrutura física do aparelho destinado ao monitoramento das interrupções no fornecimento de energia elétrica, resta agora tecer considerações sobre o correspondente programa responsável em computar, gravar e disponibilizar as informações de interesse.

3.6.1 - Linguagem de programação e processo de gravação

O programa foi desenvolvido na linguagem de programação denominada PicBasic Pro, criada pela empresa americana *MicroEngineering Labs, Inc.*, para uso exclusivo em microcontroladores da família PIC. Essa linguagem, considerada de alto nível, é bastante similar à linguagem *Basic* e, portanto, de fácil compreensão e rápida implementação, o que facilita e otimiza o trabalho, principalmente no que tange à elaboração das interfaces de comunicação com o usuário.

O programa fonte, que possui extensão ".bas", é escrito em qualquer processador de texto capaz de salvar o arquivo no formato ASCII. Após a devida compilação, são disponibilizados arquivos no formato *assembler* com extensão ".asm" e hexadecimal com extensão ".hex" para posterior gravação no microcontrolador. A Figura 3.19 ilustra esse processo.

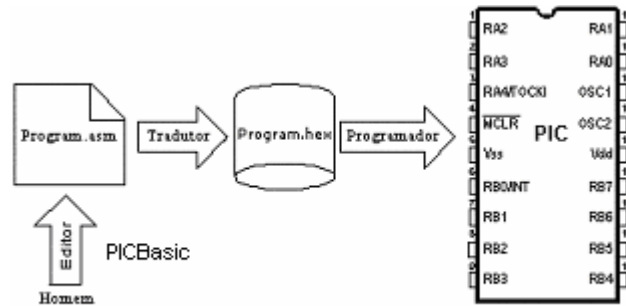



Figura 3.19 - Processo de edição e gravação do programa.

O gravador do microcontrolador, juntamente com seu programa de gravação (programador) denominado EPIC, foi também adquirido da empresa *MicroEngineering Labs, Inc.*, sendo esse conjunto mostrado na Figura 3.20.

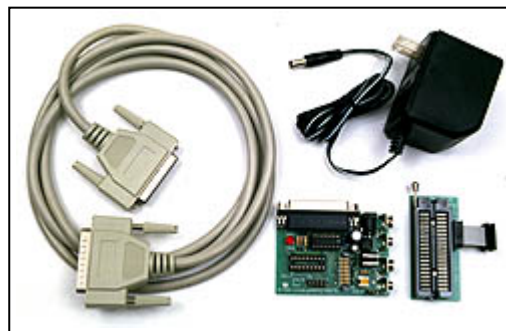



Figura 3.20 - Conjunto para gravação do PIC.

3.6.2 - Descrição do programa

A parte principal da lógica utilizada no programa de gerenciamento das interrupções de energia consta do fluxograma mostrado na Figura 3.21, cuja síntese descritiva é destacada em seguida.

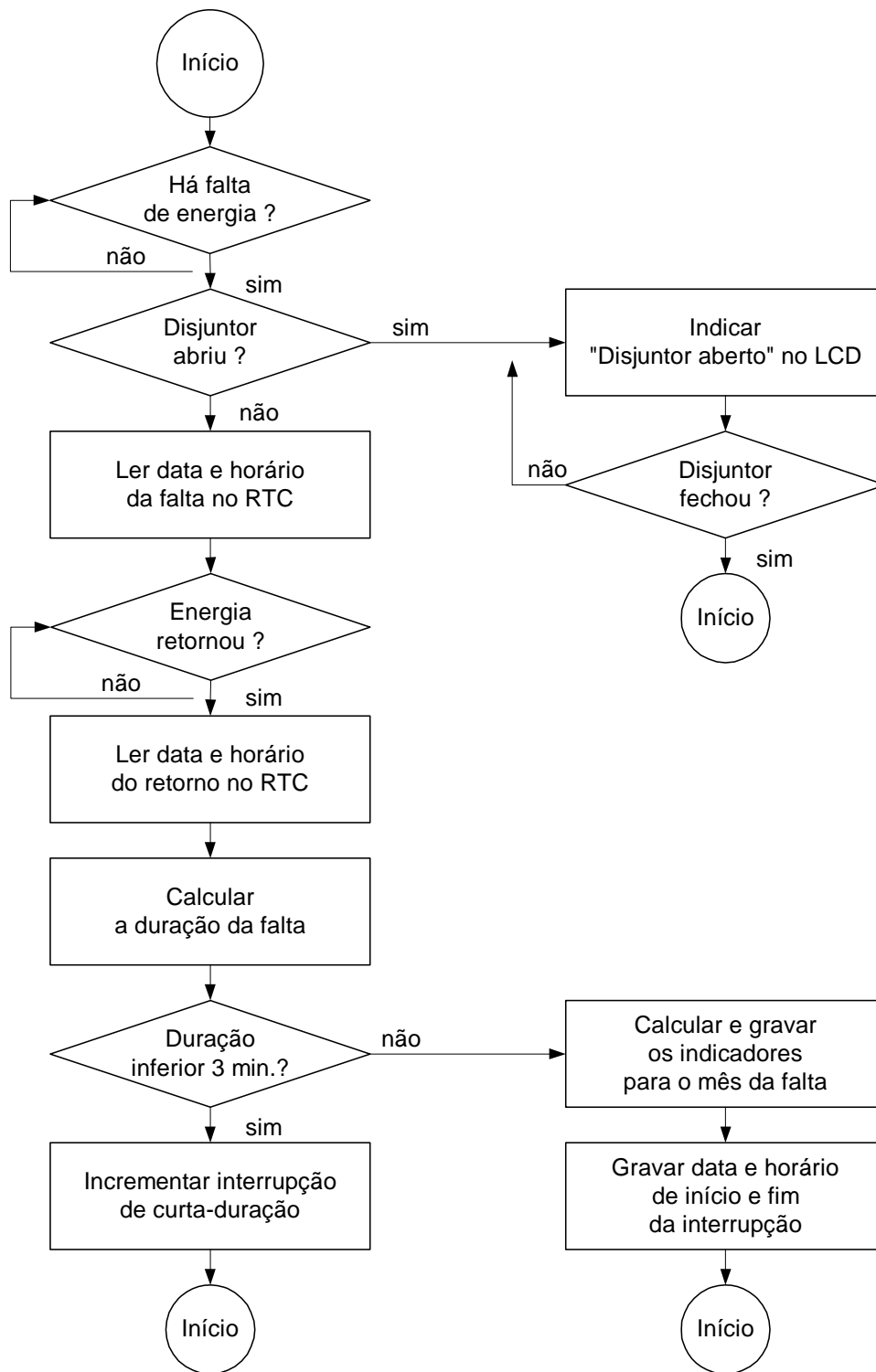



Figura 3.21 - Fluxograma lógico principal do programa.

O programa monitora continuamente o estado dos pinos 1, 2 e 3 da porta C do microcontrolador, denominados RC1, RC2 e RC3, respectivamente. Esses pinos se acham ligados diretamente às saídas do circuito de interfaceamento e foram escolhidos para essa função por serem do tipo *Schmitt Trigger*.

Duas derivações removíveis, conhecidas por *jumpers*, são utilizadas para transferir o nível lógico presente na entrada de RC1 para RC2 e deste para RC3, caso o equipamento esteja monitorando uma unidade consumidora monofásica. Com a simples remoção de uma dessas derivações, é possível monitorar unidades bifásicas e a remoção da segunda possibilita o monitoramento de unidades trifásicas. Esse recurso permite que o equipamento seja instalado em qualquer tipo de unidade consumidora, sem a necessidade de modificação do programa.

Uma outra entrada do microcontrolador monitora o estado do disjuntor do padrão de entrada de energia através de um contato auxiliar tipo NA (normalmente aberto), para inibir o cálculo dos indicadores quando o disjuntor é aberto. Por outro lado, caso o disjuntor seja desligado durante a ocorrência de uma interrupção de energia na rede pública, os indicadores são calculados até esse momento, sendo que o monitoramento da rede retorna automaticamente após o fechamento desse disjuntor. A Figura 3.22 ilustra a forma como aparelho registrador de interrupção deve ser ligado.

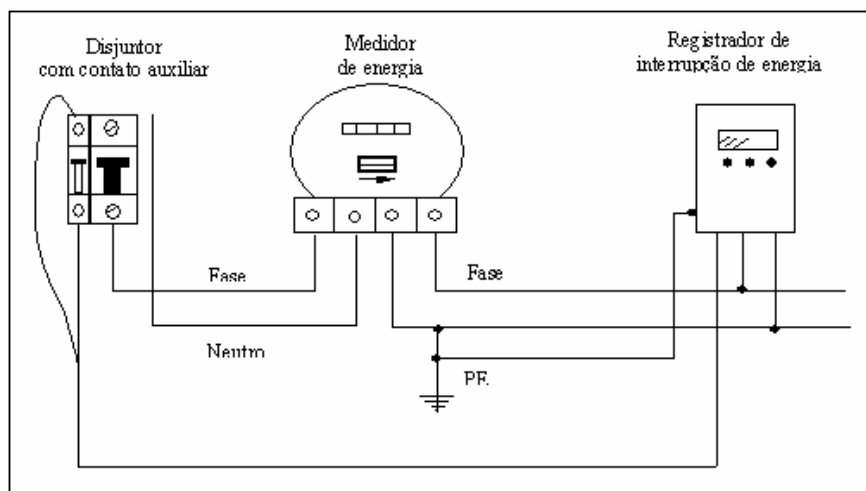



Figura 3.22 - Diagrama esquemático de montagem para instalação monofásica.

Vale salientar que essa configuração se aplica quando o disjuntor é instalado antes do medidor de energia, que corresponde ao padrão adotado pela CEB. Caso o disjuntor seja posicionado após o medidor, padrão esse também adotado por diversas concessionárias, os sensores de tensão do equipamento registrador de interrupção de energia poderão ser ligados na entrada desse disjuntor, dispensando assim o contato auxiliar mencionado e, por conseguinte, a rotina computacional para monitoramento desse contato.

Durante a ocorrência de uma interrupção de energia, o aparelho entra no modo de baixo consumo e a tensão da bateria passa a ser constantemente monitorada através de uma entrada analógica do microcontrolador. Caso essa tensão se aproxime da tensão limite considerada crítica, os indicadores são calculados até esse momento e todos os circuitos são posteriormente desligados para que a bateria seja preservada.

Defeito na fonte de alimentação também é sinalizado no LCD, porém o monitoramento das interrupções não é prejudicado enquanto a bateria apresentar tensão adequada.

Cada evento de interrupção de energia provoca o cálculo da sua duração. Caso essa duração seja inferior a 3 minutos, apenas a quantidade de interrupções de curta duração para o mês corrente é incrementada e caso contrário, os indicadores de continuidade são computados aplicando as Equações (2.3) e (2.4), com a única diferença que o indicador DIC é tratado pelo programa em horas e minutos para facilitar seu entendimento pelo usuário. Os indicadores assim calculados são gravados em memória volátil por serem mais rápidas, comparativamente à memória não-volátil. Ao findar o mês, os dados acumulados e vinculados ao mês da sua ocorrência são mantidos na memória do microcontrolador para consulta posterior, e em seguida começa o monitoramento do novo mês que se inicia. Na memória não-volátil são gravadas, de forma cíclica, as datas e horários de início e término das últimas 20 interrupções de longa duração, as quais são visualizadas no LCD em ordem inversa, ou seja, do evento mais recente para o mais antigo. No LCD ainda é possível consultar os indicadores de continuidade também em ordem inversa, ou seja, do mês em curso para os últimos 12 meses anteriores. Por simplificação e considerando o interesse prioritário em avaliar e analisar os indicadores DIC e FIC, esta versão preliminar do programa não contempla a identificação e o registro do DMIC.

O programa possui ainda uma rotina para mostrar no LCD a data e horário atuais. Quando essa rotina é chamada através do acionamento de um dos botões tácteis, o programa passa a monitorar a posição de uma chave do tipo liga-desliga miniatura posicionada externamente à caixa de acondicionamento. Quando essa chave é levada para a posição ligada (alavanca para cima), o relógio interno é adiantado em uma hora e a palavra “VERÃO” aparece no LCD, indicando assim a mudança para o horário de verão, conforme ilustra a Figura 3.23. A posição inversa dessa chave possibilita o retorno ao horário

normal, com a conseqüente retirada da palavra “VERÃO” do LCD. Esse recurso permite que os horários das interrupções sejam registrados com base na hora real.

(a) (b)

Figura 3.23 - Mudança para o horário de verão.
(a) Detalhe da chave liga-desliga à direita da caixa (b) Indicação no LCD

Os outros dois botões possibilitam a consulta dos indicadores de continuidade, da data e horário das últimas interrupções e a introdução de parâmetros, conforme já mencionado anteriormente.

Um código de proteção que é inviolável e gravado uma única vez no microcontrolador, impossibilita a leitura e alteração do programa e pode ainda ser utilizado para identificar a unidade consumidora onde o aparelho se encontra instalado, possibilitando assim uma correspondência unívoca entre eles.

3.7 - SELEÇÃO DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO

Para o cumprimento dos objetivos do presente trabalho, necessário se faz a instalação de alguns registradores de interrupção em unidades consumidoras localizadas na área de concessão da empresa CEB Distribuição.

Assim sendo, procedeu-se à identificação dos locais considerados mais adequados para a instalação pretendida, que recaiu nos circuitos assim escolhidos.

- Um circuito secundário alimentado por um transformador com histórico de elevada quantidade de interrupções, para que houvesse uma massa consistente de dados para análise.

- Um circuito primário com histórico de elevada quantidade de interrupções para que fosse possível avaliar também a diferença na qualidade do fornecimento, sob o ponto de vista da continuidade, para os clientes situados próximos e distantes da subestação. Neste caso, foi instalado um aparelho no início do alimentador, ou seja, no primeiro transformador após a subestação supridora, e outro no final deste, ou seja, no transformador mais distante eletricamente da subestação.

Uma vez escolhidos os circuitos, o endereço da instalação recaiu sobre as unidades consumidoras trifásicas que apresentaram maior facilidade para a fixação dos aparelhos. A Tabela 3.7 identifica os pontos eleitos para a instalação de 3 (três) aparelhos.

Tabela 3.7 - Locais selecionados para instalação dos registradores de interrupção.

N° DO APARELHO	CIRCUITO	TRANSFOR-MADOR	CHAVE	ENDEREÇO
01	CS-07	4575/75	FX-8076	QNM 19, CJ. N, Casa 19
02	CN-15	3180/15	FZ-0532	Saída da subestação CN
03	CN-15	2856/15	FT-6091	Chácara Ferradura

CS refere-se à subestação Ceilândia Sul.
CN refere-se à subestação Ceilândia Norte.

O aparelho 01 foi instalado no circuito do transformador com elevada quantidade de interrupções e os aparelhos 02 e 03 no início e final, respectivamente, do alimentador CN-15, considerado de baixo desempenho na CEB sob o ponto de vista dos indicadores de continuidade.

Os circuitos primários CS-07 e CN-15 possuem as seguintes principais características construtivas comuns:

- Rede aérea trifásica nua classe 15 kV;
- Estruturas predominantemente com cruzetas de ferro galvanizado;
- Isoladores tipo pino de porcelana;
- Isoladores tipo disco de vidro;
- Presença de religador automático na subestação; e
- Ausência de dispositivos de religamento automático ao longo do circuito.

Em particular, o circuito CS-07 é tipicamente urbano com 11,15 km de extensão e o circuito CN-15, com 291,76 km, é tipicamente rural.

Para possibilitar a instalação em campo, os aparelhos foram acondicionados em caixas de policarbonato conforme mostrado na Figura 3.24, com grau de proteção IP 65 e, portanto, próprias para instalação ao tempo.

Figura 3.24 - Vista do aparelho registrador em caixa de proteção.

3.8 - CONCLUSÕES

Após apresentar as vantagens que o registrador de interrupções pode proporcionar aos diversos entes envolvidos, quais sejam, o consumidor, a concessionária e o órgão fiscalizador, foram relacionados os requisitos mínimos que tal aparelho deve atender para auferir as vantagens mencionadas.

Tendo por base os requisitos expostos, foi mostrada a concepção do projeto de cada bloco componente do registrador de interrupções, culminando com a construção de um protótipo.

Especial atenção foi dada à proteção do aparelho, fazendo uso inclusive do artifício pouco convencional de ligar dois transformadores em série, haja vista a necessidade de minimizar a possibilidade de danos decorrentes de sobretensões de freqüência industrial.

Cada bloco elementar pode, certamente, ser projetado diferentemente da forma aqui apresentada, podendo inclusive ser montado com outros componentes, ou até mesmo tendo outra concepção, conduzindo contudo ao mesmo resultado, o que demonstra a flexibilidade que a eletrônica proporciona na atualidade. O projeto aqui proposto reflete fundamentalmente a facilidade na aquisição de determinados componentes no mercado brasileiro e ao seu baixo custo.

A utilização de um programa escrito em linguagem de alto nível permitiu a implementação relativamente rápida do aplicativo para o gerenciamento das interrupções. Por possibilitar a geração de um arquivo *assembler*, a linguagem utilizada pode ser considerada aberta e passível, portanto, de ser editada por qualquer programador de microcontroladores que utiliza a linguagem *assembly*.

Por fim, foi mostrada a forma de escolha dos locais considerados mais adequados para a instalação de alguns aparelhos em campo, com vistas à análise dos dados registrados.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - INTRODUÇÃO

O capítulo anterior mostrou o projeto eletrônico do registrador de interrupções de energia elétrica, acompanhado do programa responsável pelo gerenciamento das interrupções. O presente capítulo encontra-se direcionado para os aspectos de validação do produto final. Nesse sentido, dois grupos de análises são considerados.

O primeiro conjunto de resultados encontra-se voltado para a validação do protótipo, no que tange à comprovação da sua funcionalidade, bem como da sua suportabilidade frente a determinados eventos. Para tanto, foram executados diversos ensaios em laboratório.

O segundo conjunto de resultados, obtido com a instalação de aparelhos no sistema de distribuição da CEB, encontra-se voltado para os dados registrados em unidades consumidoras reais, e confrontados com os valores apurados pela concessionária.

4.2 - VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

O aparelho, conforme descrito no Capítulo 3, foi montado e submetido a diversos ensaios no laboratório de qualidade de energia da Universidade de Brasília, fazendo uso de uma fonte programável de sinais de 30 kVA – Marca: California *Instruments*, através da qual pode-se gerar diferentes formas de ondas de tensão, que foram então aplicadas no protótipo, objetivando avaliar seu desempenho.

Os ensaios tiveram dois propósitos básicos. O primeiro para verificação da suportabilidade do aparelho frente a determinados eventos aos quais o mesmo poderá ser submetido durante seu funcionamento em campo. O segundo para validação da sua operação funcional, verificando assim o fiel cumprimento das funções a que se propõe. A Figura 4.1 ilustra o arranjo laboratorial montado para atender os propósitos do presente item.

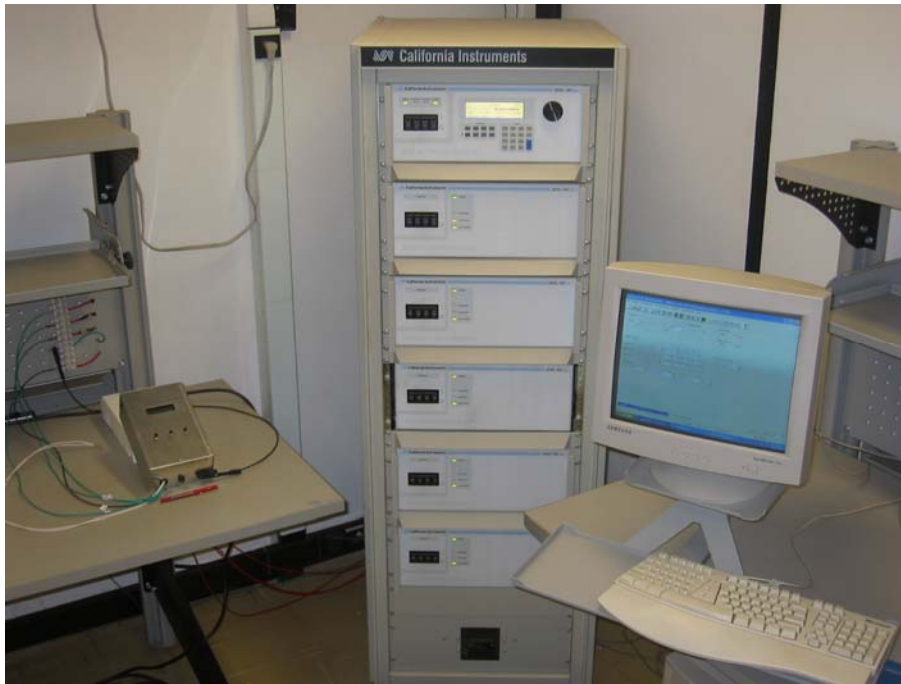



Figura 4.1 - Protótipo submetido a ensaios de laboratório.

Antes da realização dos ensaios propriamente ditos, foram efetuadas diversas medições de consumo, referenciadas em valores de corrente, com o propósito de melhor conhecer o aparelho, sendo essas indicadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores de consumo do aparelho.

ITEM	MEDIÇÃO REALIZADA	CONSUMO
1	Consumo de cada sensor de tensão.	40 μA
2	Consumo do aparelho, com a bateria completamente carregada.	105 μA.
3	Consumo do aparelho, com a bateria descarregada.	14 mA
4	Consumo do aparelho, alimentado apenas pela bateria.	2,6 mA

Os itens 1 a 3 se referem ao consumo em corrente alternada, já que foram medidos nos terminais de entrada do aparelho. O item 4 se refere à medição efetuada em corrente contínua nos terminais da bateria.

Conforme esperado, o aparelho apresentou um baixo consumo de energia, o que significa que sua instalação na unidade consumidora praticamente não afeta o valor da fatura de energia elétrica para o consumidor.

Tendo sido constatado que o aparelho consome 2,6 mA quando alimentado apenas pela bateria, o que corresponde à condição de falta de tensão na rede de energia, optou-se pela utilização de baterias de 1700 mAh, pois que possibilitarão uma elevada autonomia de 653 horas, assim calculada:

$$Horas\ de\ Utilização = \frac{Capacidade\ da\ Bateria}{Consumo\ do\ Aparelho} \tag{4.1}$$

$$Horas\ de\ Utilização = \frac{1700mAh}{2{,}6mA} = 653h \tag{4.2}$$

Em outras palavras, as baterias serão capazes de permanecer em funcionamento adequado por mais de 27 dias consecutivos na ausência da alimentação principal.

Foi testada, experimentalmente, a ligação do aparelho a uma fonte de alimentação chaveada, porém a mesma provocou um mau funcionamento do microcontrolador devido à excessiva interferência eletromagnética que se manifestou. Como a eliminação ou mesmo a mitigação desse fenômeno exigiria a instalação de filtros e/ou blindagens eletromagnéticas [Mamede, 1997], essa alternativa foi abandonada em função do aumento da complexidade e do custo que acarretaria.

4.2.1 - Ensaio de suportabilidade a sobretensão

Este ensaio tem por objetivo verificar a suportabilidade da fonte de alimentação e dos sensores de tensão frente a sobretensões sustentadas em freqüência industrial.

Aplicou-se uma tensão eficaz trifásica de 380 V nos 3 sensores de tensão e na fonte de alimentação, simultaneamente, durante o período de duas horas. Este ensaio foi realizado no laboratório de máquinas, fazendo uso de uma tomada de 380 V.

Observou-se que o comportamento do aparelho foi satisfatório, não apresentado qualquer defeito, sobreaquecimento ou mau funcionamento.

4.2.2 - Ensaio de interrupção do fornecimento

Este ensaio tem por objetivo verificar a confiabilidade do registro das interrupções de energia e comprovar a precisão na marcação da duração desses eventos.

Várias interrupções de energia de diversas durações superiores e iguais a 3 minutos foram simuladas, sendo os valores registrados pelo aparelho comparados com um relógio de pulso a quartzo.

Observou-se que não houve diferença perceptível entre as duas marcações para todas as interrupções simuladas, cujas durações variaram de 3 minutos a 2 dias consecutivos.

Destaca-se que a precisão desejada se limita a 1 minuto pois, para cada interrupção de longa duração, o órgão regulador exige o registro da data, hora e minutos do seu início e restabelecimento [ANEEL, 2000].

4.2.3 - Ensaio de operação da fonte sob condição de falta de fase

Este ensaio tem por objetivo verificar a operacionalidade da fonte de alimentação durante a ocorrência de falta de fase no sistema trifásico de distribuição de energia.

A tensão na fase A, que alimenta a fonte do aparelho, foi reduzida para 170 V e posteriormente para 140 V, permanecendo, em cada um desses valores, por um período de 2 horas.

Observou-se que, mesmo alimentada com 140 V, a fonte manteve tanto o aparelho em funcionamento normal quanto a bateria em regime de carga.

4.2.4 - Ensaio de mínima duração de interrupção

Este ensaio tem por objetivo verificar a duração mínima de interrupção no fornecimento de energia que o aparelho é capaz de capturar.

A duração das interrupções simuladas foi sendo reduzida a partir de 1s, com decrementos de 100 ms. A partir de 100 ms de duração, os decrementos foram de 10 ms. Os ensaios foram realizados tanto para cada fase individual quanto para as 3 fases simultâneas.

Observou-se que o aparelho foi capaz de registrar interrupção com duração de 1 ciclo, ou seja, cerca de 17 ms, quando a interrupção se dava em apenas uma fase. Para interrupção trifásica, o aparelho foi capaz de registrar evento com duração de ½ ciclo.

4.2.5 - Ensaio de interrupções consecutivas

Este ensaio tem por objetivo verificar o intervalo mínimo de tempo entre duas interrupções consecutivas que ainda é capaz de sensibilizar o aparelho. Essa verificação é importante pois, após o restabelecimento da energia, o microcontrolador se ocupa com o processamento do cálculo dos indicadores de continuidade, porém deve ser rápido o suficiente para registrar o próximo evento que pode se suceder logo após o término do anterior.

Para cada uma das fases do registrador, foram aplicadas tensões nominais, sendo estas depois reduzidas a zero e posteriormente retornadas ao valor nominal, para em seguida serem novamente reduzidas a zero. O intervalo com tensão em seu valor nominal entre as duas interrupções foi inicialmente ajustado para 3s, com decrementos de 1s. Esse mesmo procedimento foi depois repetido com as tensões sendo reduzidas ao valor da tensão de disparo.

Observou-se que o aparelho foi apto a registrar interrupções consecutivas distanciadas por um intervalo de 1s.

Para efeitos práticos, o valor de 1s para a duração mínima entre interrupções consecutivas é considerado satisfatório, haja vista que os religadores automáticos, utilizados nos sistemas elétricos de potência, usualmente são ajustados para valores superiores a este. Além disso, a energia elétrica apenas é considerada restabelecida se a tensão retornar em todas as fases, com tempo de permanência mínima de 1 minuto [ANEEL, 2000].

4.2.6 - Ensaio de imunidade à tensão harmônica

Este ensaio tem por objetivo verificar a imunidade do aparelho frente a ocorrência de distorções na forma de onda da tensão monitorada.

Através da fonte programável, diversas combinações de tensões harmônicas foram aplicadas ao aparelho e examinado seu funcionamento com a imposição de vários eventos de interrupção de energia.

Observou-se que para uma distorção harmônica total - DHT de até 5,16% na tensão, o aparelho apresentou comportamento satisfatório. A DHT teve como composição individual o valor de 3% para a 3ª, 5ª e 7ª harmônicas.

A Tabela 4.2 traz uma comparação entre os valores suportados pelo aparelho e os limites recomendados pela norma americana IEEE 519 para o ponto de acoplamento comum, que para efeito do presente trabalho corresponde ao ponto de entrega.

Tabela 4.2 - Comparação dos valores de distorção harmônica de tensão.

ORDEM HARMÔNICA	VALOR SUPORTADO	LIMITE IEEE 519
3ª	3%	3%
5ª	3%	3%
7ª	3%	3%
DHT	5,16%	5%

Comparativamente à norma IEEE 519, o aparelho está apto, portanto, a operar em ambientes onde os níveis de tensões harmônicas estejam dentro dos limites estipulados por essa norma.

Nos ensaios não foram aplicadas tensões harmônicas pares, por serem pouco comuns no sistema elétrico de distribuição em tensão secundária, onde as harmônicas superiores à ordem 7 são também normalmente pouco expressivas.

4.2.7 - Ensaio de verificação da tensão de disparo

Este ensaio tem por objetivo verificar o valor da maior tensão que o aparelho registra como interrupção no fornecimento de energia.

A partir do valor nominal de 220 V, a tensão aplicada individualmente em cada sensor do aparelho foi sendo gradativamente reduzida.

Observou-se que os valores de tensão interpretados como interrupção de energia divergiram entre cada fase ensaiada, variando de 125 V a 160 V. A diferença constatada se deve à elevada tolerância nos valores dos capacitores e resistores, tipicamente de ±10%, utilizados nos sensores de tensão. Deve-se também às possíveis diferenças de sensibilidade dos acopladores ópticos.

Objetivando eliminar essa variação observada e ainda possibilitar um ajuste fino da tensão de disparo, foi adicionado um *trimpot* de 2 MΩ na base do transistor do acoplador óptico do circuito de interfaceamento de sinal mostrado na Figura 3.11, em substituição ao resistor de 1 MΩ inicialmente previsto.

A Figura 4.2 mostra a foto da placa de circuito impresso após a inserção dos 3 *trimpots* horizontais, bem como a montagem laboratorial para efetuar o ajuste preciso da tensão de disparo em cada fase, fazendo uso de um *varivolt* e um multímetro digital.

(a)

(b)

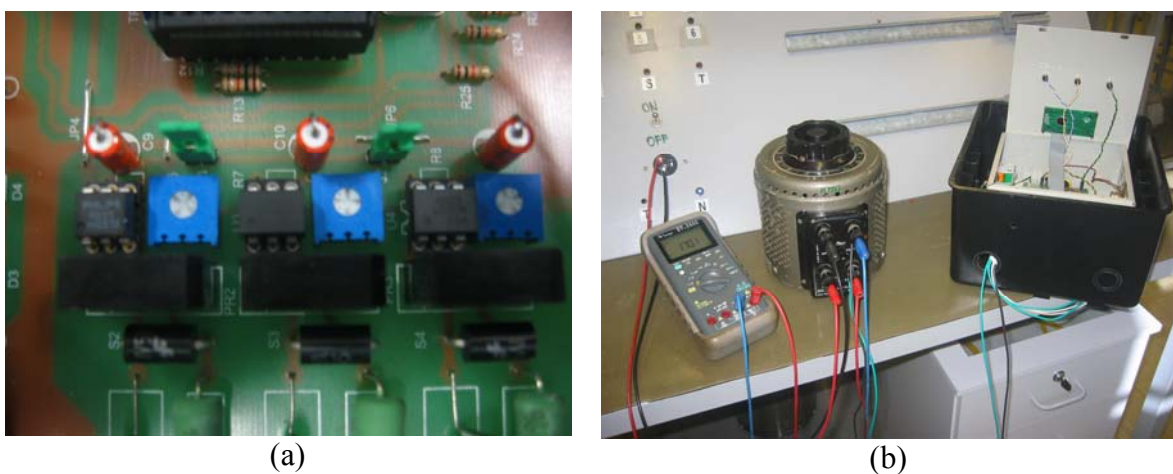



Figura 4.2 - Ajuste da tensão de disparo.
(a) *Trimpot's* de ajuste (b) Calibração em laboratório

Com essa solução, foi possível então ajustar com precisão em 170 V, o nível de tensão desejado para sensibilizar o aparelho.

A figura 4.3 mostra a vista externa do aparelho em sua versão final acondicionada em caixa metálica.

Figura 4.3 - Vista externa do aparelho registrador.

4.3 - INSTALAÇÃO DO APARELHO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Após a validação do protótipo mostrada no item anterior, mais dois outros aparelhos foram construídos e devidamente ajustados, para então serem instalados na rede aérea de distribuição de energia elétrica da CEB, visando dois objetivos básicos, quais sejam:

- Avaliação da diferença entre os indicadores de continuidade apurados pela concessionária e os efetivamente sucedidos; e
- Avaliação da freqüência de interrupções de curta duração que a unidade consumidora fica submetida.

Os aparelhos foram instalados nos locais listados no item 3.7, próximos ao padrão de entrada de energia de unidades consumidoras trifásicas.

Durante os 4 meses em que os aparelhos permaneceram instalados, o que correspondeu ao período de 01/04/06 a 01/08/06, os mesmos foram inspecionados quinzenalmente, ocasião

em que os dados gravados também eram resgatados através da leitura direta no LCD, conforme ilustra a Figura 4.4.

Indicação do DIC e FIC para determinado mês	Indicação do número total de interrupções	Datas e horários do início e término da interrupção
Indicação da data e hora atuais	Indicação da meta mensal do DIC	Indicação da meta mensal do FIC

Figura 4.4 - Informações disponibilizadas nos aparelhos.

Conforme visto na figura anterior, o aparelho disponibiliza informações adicionais de interesse do consumidor, como as metas mensais para os indicadores DIC e FIC. São disponibilizados ainda a meta do DMIC e o número telefônico da ANEEL, podendo ser acrescentados também outros pequenos informes julgados convenientes.

A Figura 4.5 mostra uma das instalações executadas em campo, com o aparelho instalado no interior de uma caixa à prova de intempéries e posicionado junto ao padrão de entrada de energia da unidade consumidora.

Figura 4.5 - Instalação do aparelho registrador em campo.

Para aferir a confiabilidade dos registros, foi instalado um analisador de qualidade de energia comercial, marca ELO Sistemas Eletrônicos – modelo ELO 631.T, no mesmo ponto elétrico de um dos aparelhos registradores de interrupção, portanto em paralelo com o mesmo, porém no alto do poste da rede de distribuição, por motivo de segurança, conforme mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6 - Analisador de qualidade de energia fixado entre o transformador e o poste.

O período de 3 semanas em que este analisador de qualidade de energia ficou instalado coincidiu com a ausência de qualquer interrupção no sistema elétrico. De todo modo, essa

informação concordou com o protótipo instalado no mesmo ponto.

4.4 - INTERRUPÇÕES APURADAS PELA CONCESSIONÁRIA

Para possibilitar análise comparativa entre as interrupções apontadas pela concessionária e as registradas pelos aparelhos, foram resgatadas, para o mesmo período em que estes permaneceram instalados, as informações contabilizadas pela CEB, obtidas no Sistema de Apoio à Operação – SAO, que, dentre outros, mantem gravado, para consulta, todos os indicadores de continuidade exigidos pela ANEEL. As interrupções de curta duração foram obtidas no Sistema de Supervisão e Controle – SSC, utilizado pela área de engenharia da CEB, que contabiliza, dentre outros, as aberturas e fechamentos dos religadores automáticos das subestações.

As Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 mostram os valores dos indicadores de interesse para o presente trabalho, acrescidos dos indicadores DEC e FEC, tanto do circuito primário que atende a unidade consumidora onde cada aparelho foi instalado, quanto do conjunto elétrico correspondente. Ressalta-se que os indicadores do circuito não são exigidos pela ANEEL, sendo apenas de uso interno da concessionária e normalmente utilizados para melhor direcionar seus recursos de manutenção.

Tabela 4.3 - Valores apurados pela CEB para o ponto de instalação do aparelho 01.

INDICADOR	MESES				LIMITE MENSAL
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06	
DIC	3,92	1,98	0,47	1,08	17
FIC	1	2	1	1	13
DEC CONJUNTO	1,19	0,57	0,46	1,34	6
FEC CONJUNTO	0,99	0,44	0,74	0,14	9,9
DEC CIRCUITO	0,03	0,04	0,19	0,06	não há
FEC CIRCUITO	0,01	0,06	0,07	0,03	não há
INTERRUPÇÕES Curta Duração	0	0	2	0	não há

Tabela 4.4 - Valores apurados pela CEB para o ponto de instalação do aparelho 02.

INDICADOR	MESES				LIMITE MENSAL
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06	
DIC	2,97	0,18	0,18	0	36
FIC	3	1	1	0	29
DEC CONJUNTO	3,03	3,19	1,17	1,72	15
FEC CONJUNTO	1,60	1,26	1,21	1,67	18,9
DEC CIRCUITO	8,74	4,73	0,32	3,90	não há
FEC CIRCUITO	3,63	1,40	1,06	1,85	não há
INTERRUPÇÕES Curta Duração	4	0	4	2	não há

Tabela 4.5 - Valores apurados pela CEB para o ponto de instalação do aparelho 03.

INDICADOR	MESES				LIMITE MENSAL
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06	
DIC	7,68	3,02	0,18	0	36
FIC	4	2	1	0	29
DEC CONJUNTO	3,03	3,19	1,17	1,72	15
FEC CONJUNTO	1,60	1,26	1,21	1,67	18,9
DEC CIRCUITO	8,74	4,73	0,32	3,90	não há
FEC CIRCUITO	3,63	1,40	1,06	1,85	não há
INTERRUPÇÕES Curta Duração	4	0	4	2	não há

Conforme pode ser facilmente observado nas tabelas anteriores, os indicadores mais abrangentes, como o DEC e FEC, por representarem uma média ponderada de todas as interrupções que se sucedem no conjunto ou no circuito considerado, não retratam a real incidência dessas ocorrências em uma unidade consumidora individualmente tratada. Diferenças de até 17 vezes para o DEC e de 7 vezes para o FEC, em relação aos indicadores DIC e FIC, respectivamente, são notadas, o que comprova a importância destes

últimos e a necessidade de desenvolvimento do aparelho proposto para registrar as faltas que o consumidor observa e que efetivamente fica submetido.

Apesar dos limites mensais não terem sido ultrapassados em nenhum caso, é evidente também que a unidade consumidora mais distante da subestação supridora possui indicadores individuais mais elevados, comparativamente à unidade consumidora mais próxima da subestação.

4.5 - INTERRUPÇÕES REGISTRADAS PELOS APARELHOS

Os aparelhos registradores de interrupção disponibilizam os indicadores DIC em horas e minutos. Para que sejam expressos na mesma unidade utilizada pela CEB, para efeito de comparação, esses dados foram transformados em horas e centésimos de hora.

As Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 destacam os valores dos indicadores de continuidade mensais resgatados dos aparelhos, com o indicador DIC já devidamente convertido.

Tabela 4.6 - Valores registrados pelo aparelho 01.

INDICADOR	MESES			
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06
DIC	4,03	2,05	0,62	1,98
FIC	1	3	2	2
INTERRUPÇÕES Curta Duração	2	2	4	0

Tabela 4.7 - Valores registrados pelo aparelho 02.

INDICADOR	MESES			
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06
DIC	3,16	0,20	0,37	0
FIC	3	1	2	0
INTERRUPÇÕES Curta Duração	5	0	4	3

Tabela 4.8 - Valores registrados pelo aparelho 03.

INDICADOR	MESES			
	ABRIL/06	MAIO/06	JUNHO/06	JULHO/06
DIC	8,80	3,10	0,40	0,62
FIC	4	2	2	3
INTERRUPÇÕES Curta Duração	13	1	16	33

Confirmando o que já havia sido constatado para os indicadores apurados pela CEB, o aparelho 03 registrou valores superiores aos do aparelho 02.

4.6 - AVALIAÇÃO DAS INTERRUPÇÕES DE LONGA DURAÇÃO

Para possibilitar exame simultâneo, os indicadores de continuidade DIC e FIC, objeto das interrupções consideradas de longa duração, depois de coletados dos aparelhos registradores, são neste item comparados com os valores apurados pela CEB.

Os gráficos das Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram, para cada ponto de instalação, os indicadores DIC registrados pelos aparelhos, comparativamente aos apurados pela CEB.

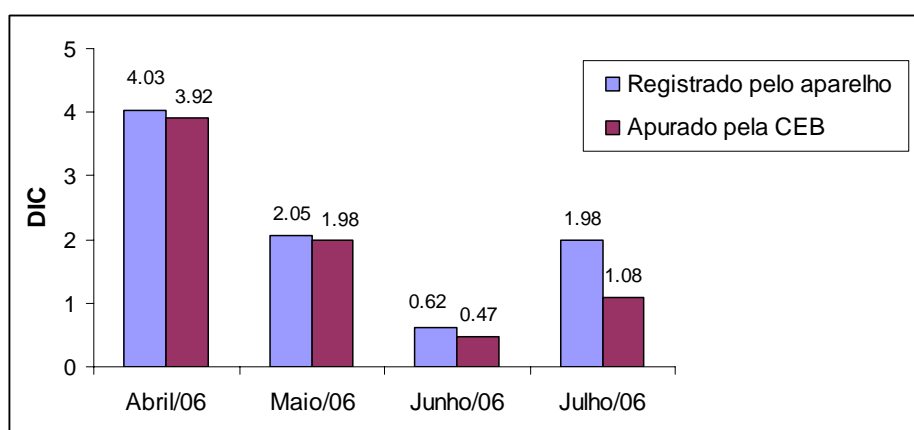



Figura 4.7 - Indicadores DIC para o ponto de instalação do aparelho 01.

Para o ponto de instalação do aparelho 01, foi constatada uma diferença média de 14% entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB.

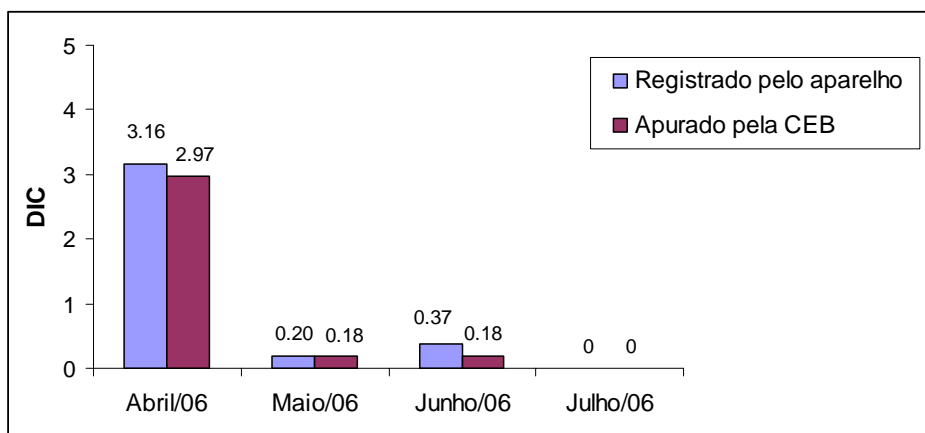



Figura 4.8 - Indicadores DIC para o ponto de instalação do aparelho 02.

Para o ponto de instalação do aparelho 02, foi constatada uma diferença média de 11% entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB.

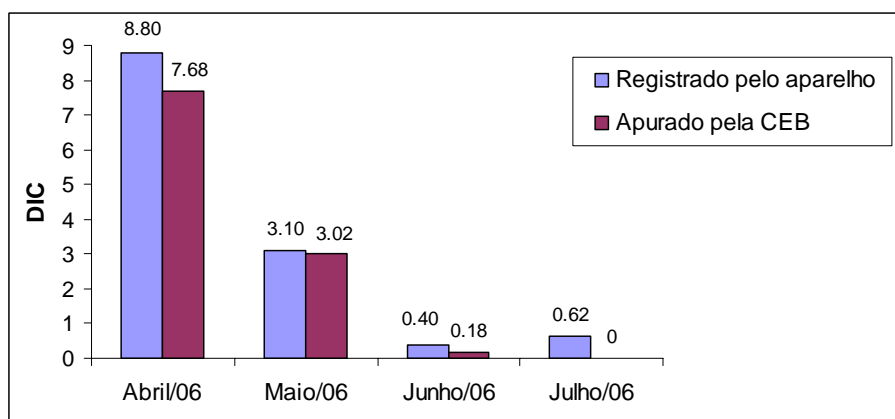



Figura 4.9 - Indicadores DIC para o ponto de instalação do aparelho 03.

Para o ponto de instalação do aparelho 03, foi constatada uma diferença média de 16% entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB.

Considerando todos os três pontos de instalação dos aparelhos e tendo por base os gráficos anteriores, é possível constatar uma diferença média de 14% a maior entre as durações das interrupções que as unidades consumidoras efetivamente ficaram submetidas e as apuradas pela concessionária. Essa diferença, que representa uma divergência média de apenas 0,21 horas, ou seja, cerca de 12 minutos por interrupção, certamente se deve à maior facilidade de comunicação dos consumidores com o serviço de atendimento emergencial da concessionária.

Com exceção das interrupções provocadas por intervenções da própria concessionária ou pela operação de equipamentos com sensoriamento automático da rede, via de regra a contagem da duração das interrupções no fornecimento da energia é iniciada a partir do momento em que algum consumidor registra a reclamação na central de atendimento emergencial da empresa distribuidora. Como as faltas monitoradas pelo aparelho são registradas a partir do instante em que a interrupção efetivamente ocorre, a diferença verificada reflete o tempo que, em média, o consumidor leva para contatar a concessionária, o qual depende, dentre outros:

- Da presença do consumidor em sua unidade consumidora;
- Da percepção da falta de energia pelo consumidor;
- Da disposição do consumidor em contatar a central de atendimento emergencial da concessionária;
- Da disponibilidade de sistema de comunicação com a central de atendimento emergencial da concessionária; e
- Da disponibilidade do sistema de atendimento emergencial da concessionária.

De forma similar, os próximos gráficos referentes às Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 mostram, para os mesmos pontos de instalação, os indicadores FIC registrados pelos aparelhos, comparativamente aos apurados pela CEB.

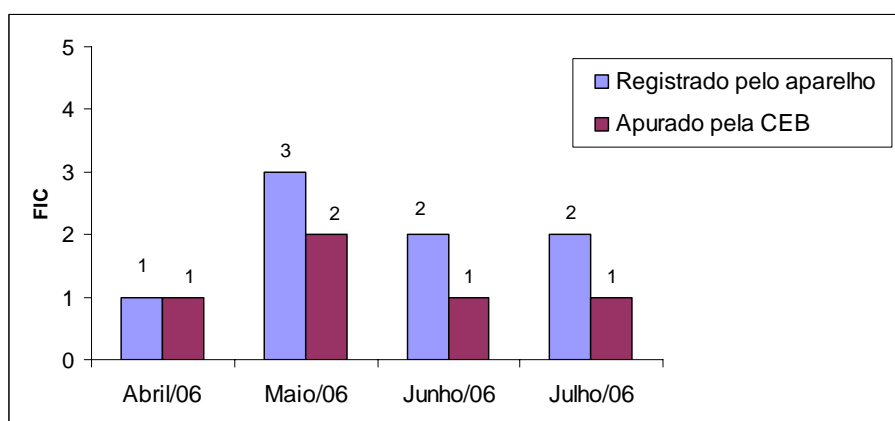



Figura 4.10 - Indicador FIC para o ponto de instalação do aparelho 01.

Para o ponto de instalação do aparelho 01, foi constatada uma diferença média de apenas uma interrupção entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB. Exceto

no mês de abril, o aparelho sempre registrou uma interrupção a mais, comparativamente aos dados da concessionária.

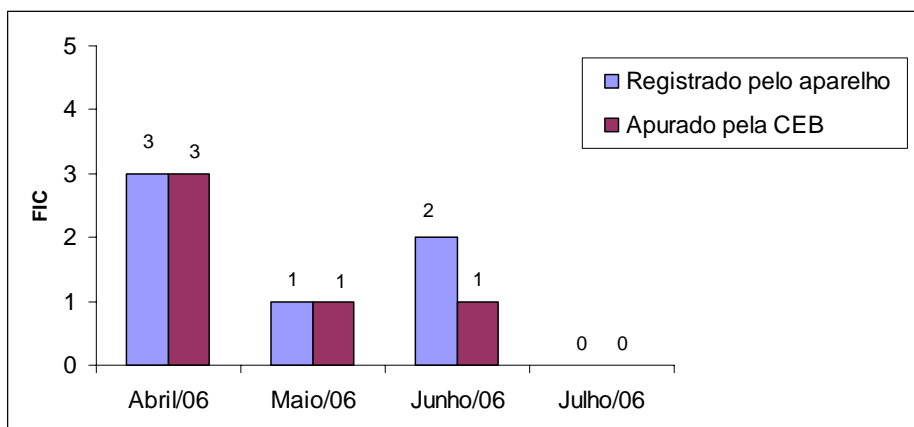



Figura 4.11 - Indicador FIC para o ponto de instalação do aparelho 02.

Para o ponto de instalação do aparelho 02, excetuando o mês de junho onde o aparelho acusou uma interrupção a mais, não houve discordância entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB.

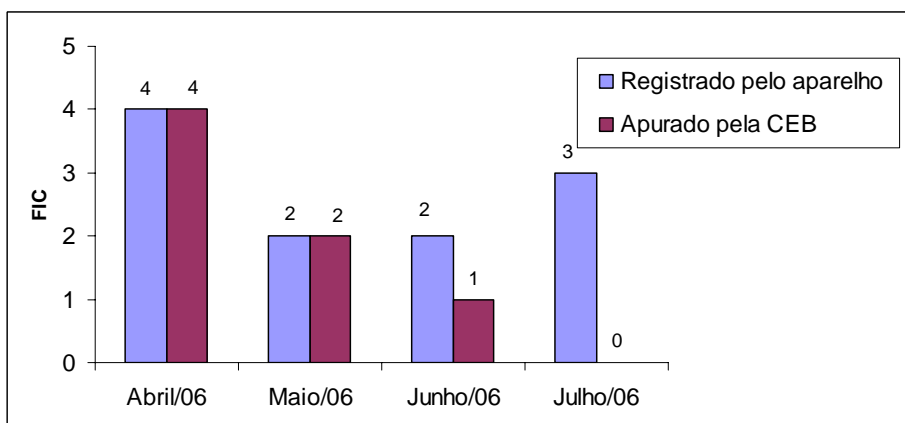



Figura 4.12 - Indicador FIC para o ponto de instalação do aparelho 03.

Para o ponto de instalação do aparelho 03, foi constatada uma diferença média mensal de uma interrupção, entre os valores registrados pelo aparelho e os apurados pela CEB. Contudo, as divergências entre esses valores foram concentradas em dois meses.

Considerando todos os aparelhos instalados e com base nas informações obtidas nos três gráficos anteriores, é possível verificar uma diferença média de 32% entre os indicadores

FIC que as unidades consumidoras efetivamente ficaram submetidas e os apurados pela concessionária.

Essa diferença representa uma divergência média de 0,66 interrupções por mês, ou seja, um pouco mais de 1 interrupção a cada dois meses.

O quantitativo superior de interrupções de longa duração registrado pelos aparelhos, comparativamente aos dados da concessionária, reflete provavelmente algum evento que deixou de ser contabilizado pela empresa distribuidora, ou ainda, procedimentos de manobra ou testes na rede necessários ao restabelecimento do fornecimento, mas que não foram computados como uma nova interrupção.

As médias das duas diferenças mencionadas, relativas às interrupções de longa duração, estão indicadas claramente no gráfico da Figura 4.13.

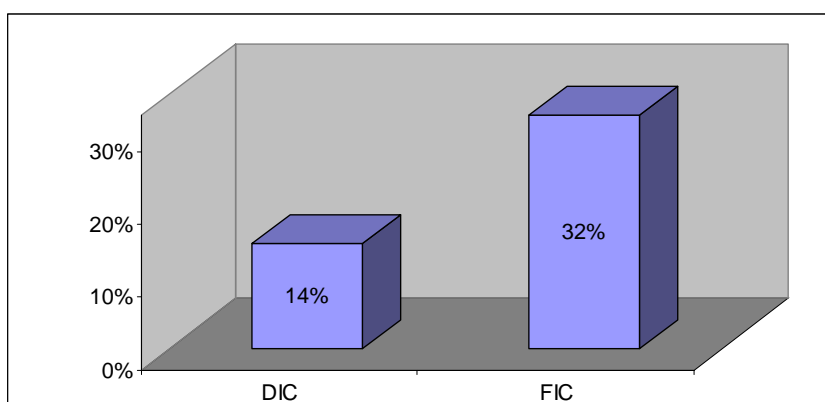



Figura 4.13 - Diferença comparativa entre registrado x apurado.

Aproveitando os dados apresentados nas Tabelas 4.7 e 4.8, é possível também conhecer a diferença de qualidade no suprimento da energia elétrica, do ponto de vista da continuidade do fornecimento, entre os consumidores situados próximos da subestação supridora e os consumidores situados distantes dela. O gráfico da Figura 4.14 mostra essa desigualdade.

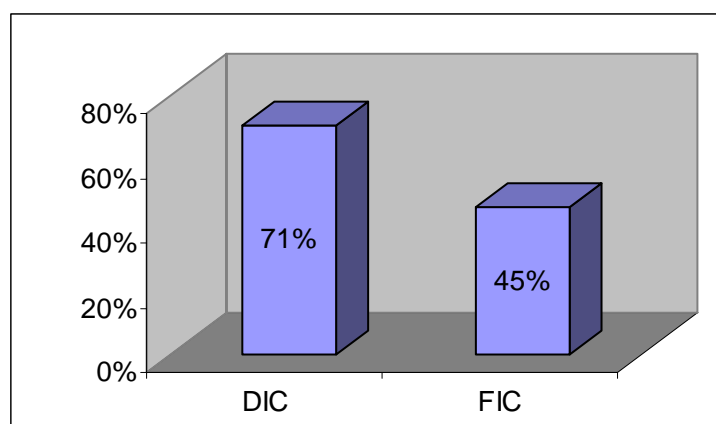



Figura 4.14 - Diferença na qualidade do suprimento.

Conforme se esperava, as unidades consumidoras distantes da subestação estão sujeitas a uma qualidade inferior no suprimento de energia, sob o ponto de vista da continuidade, comparativamente às unidades situadas próximas da subestação. A diferença mais expressiva se refere ao indicador DIC, pois, no presente caso, a unidade consumidora distante da subestação se refere a uma instalação rural alimentada por um circuito extremamente longo e situado em região de difícil acesso, o que certamente dificulta o restabelecimento do fornecimento da energia.

4.7 - AVALIAÇÃO DAS INTERRUPÇÕES DE CURTA DURAÇÃO

Para possibilitar exame simultâneo, as quantidades das faltas de energia com duração inferior a 3 minutos, objeto das interrupções consideradas de curta duração, depois de coletadas dos aparelhos registradores, são neste item também comparadas com os valores apurados pela CEB.

Os gráficos das Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 mostram, para cada ponto de instalação, o quantitativo de ocorrências de interrupções de curta duração registrado pelos aparelhos, comparativamente ao apurado pela CEB.

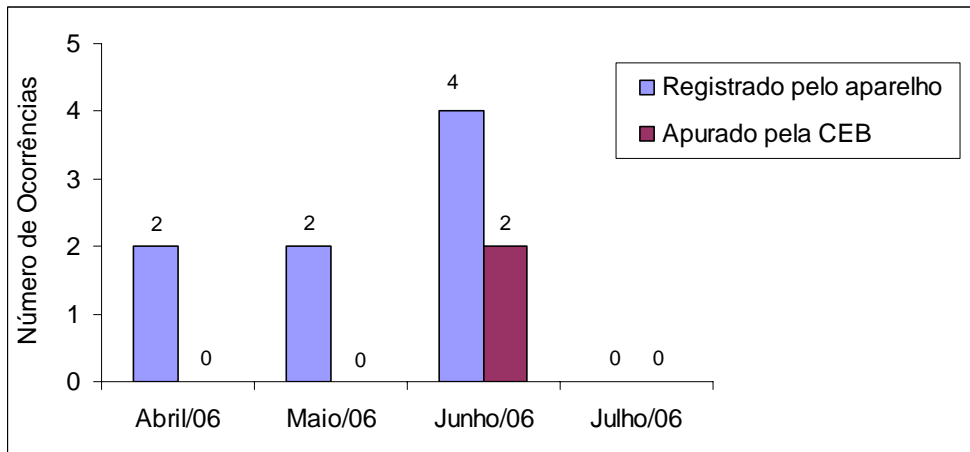



Figura 4.15 - Interrupções de curta duração para o ponto de instalação do aparelho 01.

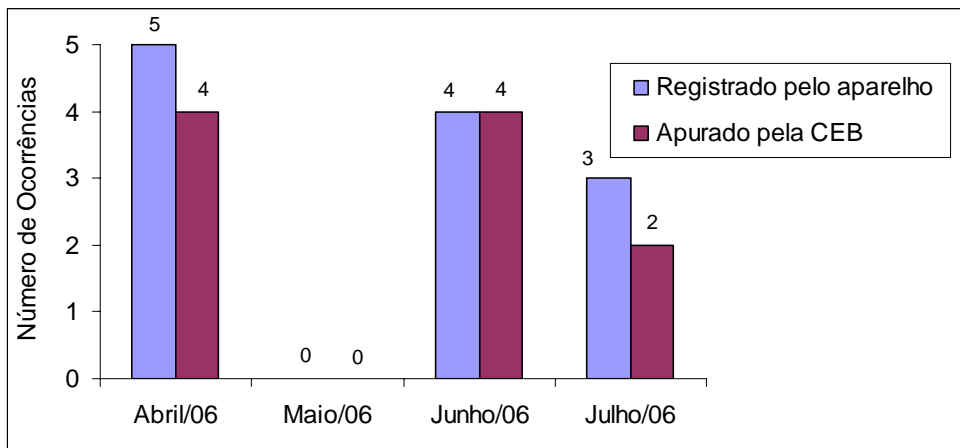



Figura 4.16 - Interrupções de curta duração para o ponto de instalação do aparelho 02.

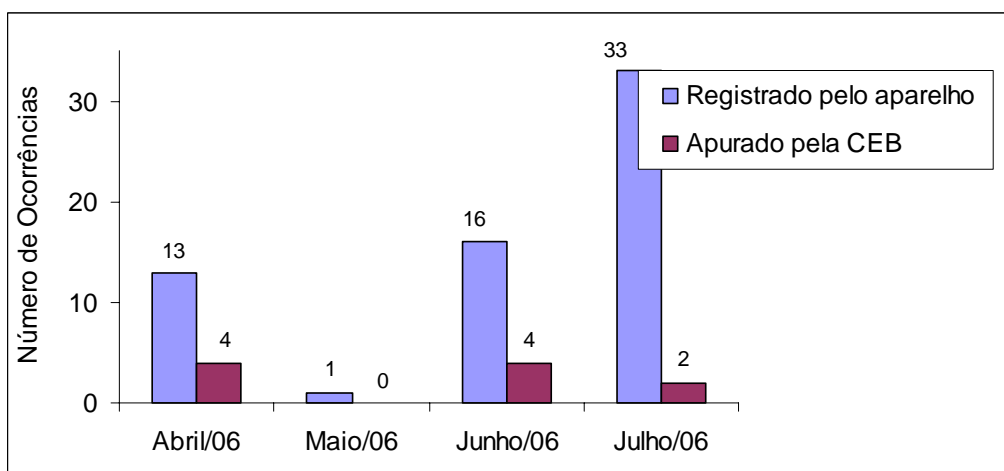



Figura 4.17 - Interrupções de curta duração para o ponto de instalação do aparelho 03.

Considerando todos os aparelhos instalados e com base nas informações obtidas nos três gráficos anteriores, é possível constatar uma diferença média de 377% entre o quantitativo de interrupções de curta duração que as unidades consumidoras efetivamente ficam submetidas e o apurado pela concessionária.

Verifica-se ainda que a quantidade de interrupções de curta duração na unidade consumidora mais distante da subestação foi cerca de 81% superior à unidade consumidora mais próxima desta, demonstrando assim que os clientes mais distantes ficam sujeitos a uma qualidade de fornecimento inferior também para esse tipo de ocorrência, conforme era de se esperar.

Cumulativamente, nos quatro meses sob observação, a quantidade de interrupções de curta duração registrada pelo aparelho 03, instalado na unidade consumidora mais distante da subestação, foi cerca de 6 (seis) vezes superior às registradas pelo religador do circuito supridor, provavelmente devido a disrupções em isoladores, já que parte do monitoramento foi realizado em período chuvoso, acrescido de possíveis afundamentos de tensão.

Estes eventos, normalmente não computados pela concessionária, podem ser capturados pelo aparelho, conforme foi previsto no item 3.5.7.2. Ressalta-se que o circuito sob análise utiliza estruturas com cruzetas de ferro galvanizado e não possui religador automático após a subestação.

4.8 - CONCLUSÃO

O aparelho se mostrou adequado para o registro das interrupções de longa duração e para o cálculo dos indicadores de continuidade a eles relacionados.

Invariavelmente, os indicadores registrados pelos aparelhos foram sempre iguais ou superiores aos dados apurados pela concessionária.

Porém, ao ajustar o sensor de tensão do aparelho para interpretar falta de fase como interrupção de energia, o mesmo ficou sensível também para registrar alguns eventos de afundamentos de tensão. Contudo, modificações relativamente simples no circuito do

aparelho e no programa de gerenciamento serão capazes de discriminar esses eventos para que os afundamentos de tensão não sejam computados como interrupção de curta duração.

É importante salientar que os indicadores de continuidade oficializados pela ANEEL não são afetados pelo fato do aparelho ser sensível a determinados afundamentos de tensão, pois estes eventos, por definição, se referem a ocorrências com duração inferior ou igual a 1 minuto, enquanto o DIC e FIC são computados para interrupções com duração a partir de 3 minutos.

Lembrando que algumas interrupções no fornecimento da energia não devem ser consideradas no cálculo dos indicadores individuais, conforme citado no item 2.3.2, na prática isso significa que deve ser subtraído dos valores indicados pelo aparelho, a duração e a quantidade das interrupções a serem desconsideradas, sendo estas últimas obtidas no próprio aparelho, consultando as datas e horários das suas ocorrências.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 - CONCLUSÕES GERAIS

Com a crescente conscientização da sociedade sobre seus direitos em obter uma energia dentro de limites de qualidade considerados aceitáveis e regulamentados pelo poder concedente, torna-se imperativo que as concessionárias se antecipem a essa tendência, disponibilizando meios que proporcionem transparência às suas informações e cativando, dessa forma, a confiança do seu público consumidor.

O aparelho registrador de interrupções de energia se mostrou adequado à essa exigência, além de confiável, de fácil manuseio e baixo custo, possibilitando assim o monitoramento dos indicadores considerados de maior relevância do ponto de vista do consumidor atendido em tensão secundária de distribuição.

O diferencial do sistema aqui desenvolvido, em relação a outras soluções disponíveis no mercado, é a sua concepção para indicar localmente os dados referentes às interrupções de energia e simplicidade operacional para utilização direta pelo consumidor, podendo ainda ser empregado tanto pelos órgãos fiscalizadores, como a ANEEL e os Conselhos de Consumidores, quanto pela própria concessionária.

Ao fazer uso de dispositivos de monitoramento, como o aparelho aqui proposto, o consumidor se transforma em um fiscal da qualidade do suprimento, estimulando dessa forma a melhoria no serviço prestado pelas concessionárias e contribuindo, de maneira efetiva, para a elevação dos níveis de continuidade do fornecimento da energia elétrica na área de concessão da sua empresa distribuidora.

Enfocou-se neste trabalho a aplicação do sistema para o monitoramento de unidades consumidoras monofásicas, bifásicas e trifásicas atendidas em tensão secundária de distribuição. No entanto, para o registrador de interrupções de energia é indiferente qual o nível de tensão está sendo monitorado, desde que este seja condicionado à tensão de funcionamento do aparelho.

Através da presente pesquisa, foi possível conhecer a diferença entre os indicadores de continuidade apurados pela concessionária, os quais são fortemente dependentes dos registros das reclamações dos consumidores, e os efetivamente ocorridos "*in-loco*", o que pode auxiliar na adoção de medidas para sua minimização. Tendo em vista essa diferença, fica claro que a percepção do consumidor sobre o nível da continuidade da prestação do serviço de distribuição de energia elétrica difere do nível exibido ou ostentado pela empresa concessionária.

Foi possível também conhecer a diferença na qualidade do suprimento da energia, do ponto de vista da continuidade, entre a unidade consumidora situada distante da subestação, comparativamente à unidade consumidora próxima da mesma subestação.

Ficou evidenciado ainda que as interrupções de curta duração têm uma contribuição significativa no total de eventos que atinge as instalações consumidoras. Além disso, considerando a elevada disseminação de produtos de consumo baseados em microcoprocessadores, atualmente uma interrupção com duração inferior a 3 minutos pode ser tão prejudicial quanto uma interrupção de mais longa duração. Fica demonstrada assim a necessidade de investigar a possibilidade de normalização e regulação das interrupções de curta duração e classificar o seu comportamento.

Desenvolver uma norma desse tipo ou classificação de comportamento requer um conhecimento profundo dos níveis atuais, dos custos de medidas de mitigação e também dos custos dessas interrupções, representados principalmente pelos danos diretos que acarretam. Deve ser considerada ainda a disposição do consumidor em pagar mais por níveis de qualidade superiores.

5.2 - RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Pelo exposto, recomenda-se que seja dado um tratamento estatístico ao presente trabalho, através do monitoramento das interrupções de curta duração ao longo de diversos circuitos que representem o universo da concessionária, para então formatar uma proposta visando ao estabelecimento de limites para esses eventos.

Como a percepção e o prejuízo imposto pelas interrupções de curta duração estão sujeitos à hora do evento e ao tipo de atividade exercida, propõe-se que os limites a serem estabelecidos sejam também dependentes da faixa horária da sua ocorrência e da classe de atividade da unidade consumidora.

Para que o aparelho proposto possa gozar de credibilidade junto aos usuários, recomenda-se que sua precisão seja aferida e certificada por um organismo oficial, como por exemplo, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Digno de nota que o aparelho aqui desenvolvido possui precisão de ± 1 minuto para interrupções com duração a partir de 3 minutos. Havendo necessidade de precisão superior, é necessária alteração no programa aplicativo para que os valores dos segundos também sejam lidos no RTC, já que na presente versão apenas as horas e os minutos são requisitados.

A concepção do sensor de tensão adotada se mostrou adequada para interpretar falta de fase no sistema de distribuição primário como interrupção no fornecimento da energia. Contudo, isso resultou na captura não desejada de alguns afundamentos momentâneos de tensão. Para que esses tipos de eventos possam ser discriminados das interrupções de curta duração, propõe-se o desenvolvimento de uma segunda versão do aparelho que contorne essa limitação.

Propõe-se ainda que sejam desenvolvidos módulos a serem adicionados à versão básica do aparelho, de forma a agregar funcionalidades específicas, como por exemplo:

- Módulo para possibilitar o atendimento à Resolução 505 da ANEEL de 20 de dezembro de 2001, que dispõe sobre os níveis de tensão em regime permanente, já que esses dados também devem ser obtidos na entrada de energia da unidade consumidora;
- Módulo para comunicação remota via *internet*; e
- Módulo para acoplamento a GPS (*Global Positioning System*) para que os horários das interrupções estejam em sincronismo com a hora oficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 2004. NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão – norma técnica editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 30 de setembro de 2004.

ANEEL, 2000. Resolução nº 24 de 27 de janeiro de 2000 – Estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica a unidades consumidoras.

ANEEL, 2001a. Resolução nº 505, de 26 de novembro de 2001 - Estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.

ANEEL, 2001b. Ofício nº 336/2001 – SRD/ANEEL de 13 de setembro de 2001, expedido pela Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição.

ANEEL, 2004. Resolução Normativa nº 126 de 6 de dezembro de 2004 - Estabelece as metas de continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica, nos seus aspectos de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora - DEC e Freqüência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora - FEC, para os conjuntos de unidades consumidoras da área de concessão da Companhia Energética de Brasília - CEB.

ANEEL, 2005. Procedimentos de Distribuição - PRODIST – Módulo 8 – Qualidade do Serviço Prestado, Seção 8.2, Revisão 1, *Site* www.aneel.org.br acessado em 04/09/2006.

Belisário, César D. A., Bahiense, Daniella A., Oliveira, Gecê M., 2003. “Continuidade nos Serviços de Distribuição de Energia Elétrica” – Conj. & Planej. SEI, n. 105, p. 36-40 – Salvador – Brasil.

Bezerra, U.H., Garcez, J. N., Moscoso, M. N. A., Sena, J. A. S., Souza, D. T., Silva, R.R., Lemos, R. J. S., Tupiassú, A. A. A. e Mesquita, J. E., 2002. Sistema Distribuido de Monitoramento da Qualidade de Tensão em Redes de Distribuição de Energia

Elétrica – XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI, 2002.

Cahors, Groupe, 2000. Detectores de corte MAEC – Gestão dos detectores de corte – Publicação dos dados técnicos.

CEB, 2003. Norma Técnica de Distribuição - NTD-6.01 – Fornecimento em tensão secundária de distribuição - Unidades consumidoras individuais, publicado pela Companhia CEB Distribuição S.A. em junho de 2003.

Ciarcia, Steve, 1984. Construa seu próprio Microcomputador Z80 – São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

Costa, Paulo Fernandes, 2006. Redução das paralizações dos sistemas aéreos de distribuição brasileiros através do uso da Bobina de Petersen, SENDI 2006.

Dallas, 2003. Data Sheet DS1307 64x8 Serial Real Time Clock.

Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark e Beaty, H. Wayne, 1996. "Electrical Power Systems Quality" – McGraw-Hill Companies, Inc, New York - USA.

Eto, Joseph, 2004. "Pilot Evaluation of Electricity-Reliability and Power-Quality Monitoring in California's Silicon Valley with the I-Grid® System" - University of California, Berkeley, Califórnia – USA.

Lactec, 2006. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. *Site* www.lactec.org.br acessado em 04/09/2006.

Mamede Filho, João, 1993. Manual de Equipamentos Elétricos, Volume I – LTC – Livros Técnicos e Científicos Ed., Rio de Janeiro.

Mamede Filho, João, 1997. Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis – Editora Érica, São Paulo.

McComb, Gordon, 2000. The Robot Builder's Bonanza – 2ª edição – Editora McGraw Hill

Microchip, 2003. PIC 16F876 Data Sheet - 28/40/44 – Pin Enhanced Flash Microcontrollers – Microchip Technology Inc.

Nansen, 1997. Medidor Eletrônico Multifunção Spectrum – Manual de Referência Técnica, Revisão 0.05.

ON Semiconductor, 2001. TVS/Zener Device Data (Transient Voltage Suppressors and Zener Diodes) – Rev. 2, May 2001

Roeper, Richard, 1979. Correntes de curto-circuito em redes trifásicas – Tradução da 5ª Ed. Alemã de Walfredo Schmidt - Editora Pedagógica e Universitária Ltda – Siemens A.G.

Schimanski, Joachim, 2005. The comprehensive surge voltage protection concept from Phoenix Contact – Acessado pela internet em23/05/2005.

UFU, 2004. Testes de Desempenho Funcional em Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica – Relatório Técnico da Universidade Federal de Uberlândia em conjunto com o ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico – Abril/2004.

APÊNDICES

A - ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA TENSÃO REMANESCENTE

Este ensaio objetivou a medição da tensão secundária remanescente durante a falta de uma ou duas fases primárias em transformadores trifásicos de distribuição.

A montagem laboratorial é mostrada nas próximas figuras, onde o transformador da direita foi utilizado como elevador de tensão de 380 V/13.800 V para alimentar o transformador de distribuição sob ensaio colocado à esquerda, a partir do qual as tensões secundárias foram medidas. Particularmente na Figura A.1, está sendo simulada a falta de tensão na fase B.

Figura A.1 - Simulação de falta de uma fase.

Este mesmo arranjo foi utilizado para a simulação de falta de tensão nas demais fases e repetido para os demais transformadores submetidos ao ensaio.

Conforme mostra a Figura A.2, foi também simulada a falta de duas fases simultâneas no circuito primário.

Figura A.2 - Simulação de falta de duas fases.

A tabela A.1 indica os valores medidos nos ensaios, onde também é destacada a tensão mais elevada encontrada, excetuando as fases sem defeito.

Tabela A.1 - Medições das tensões secundárias remanescentes em transformadores trifásicos durante uma falta de fase na alta tensão (*).

POTENCIA DO TRANSFORMADOR	FASE SOB FALTA NA A.T.	TENSÕES FASE-NEUTRO REMANESCENTES NA B.T. (V)		
		AN	BN	CN
15 KVA Impedância = 3,8 %	FASE A	87	158	216
	FASE B	215	144	72
	FASE C	113	216	103
75 KVA Impedância = 3,5 %	FASE A	85	146	219
	FASE B	215	140	71
	FASE C	112	217	104
150 KVA Impedância = 3,6%	FASE A	83	139	220
	FASE B	217	134	84
	FASE C	111	217	107

(*) Excetua-se a fase sã.

A.T. = Alta Tensão, ou seja, lado da tensão primária.

B.T. = Baixa tensão, ou seja, lado da tensão secundária.

AN = Fase A e neutro.

BN = Fase B e neutro.

CN = Fase C e neutro.

As simulações de falta simultânea de duas fases no lado primário mostraram que as tensões secundárias se reduzem a valores extremamente baixos, conforme esperado, o que dispensou seus registros, uma vez que sempre provocarão a sensibilização do sensor de tensão, ajustado para 170 V.

B – ESQUEMA DO CIRCUITO ELETRÔNICO COMPLETO

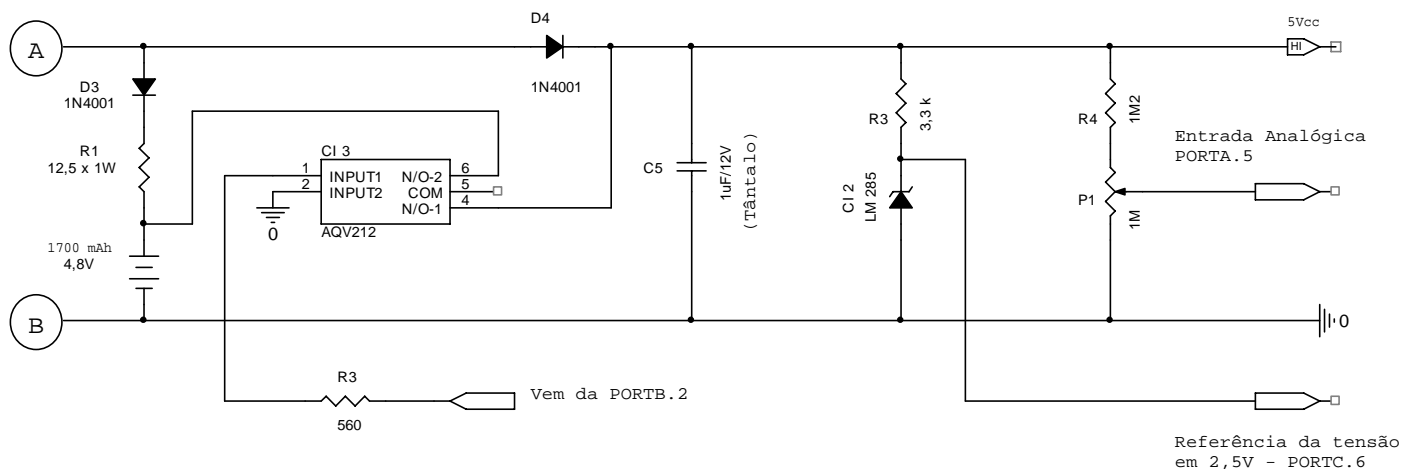
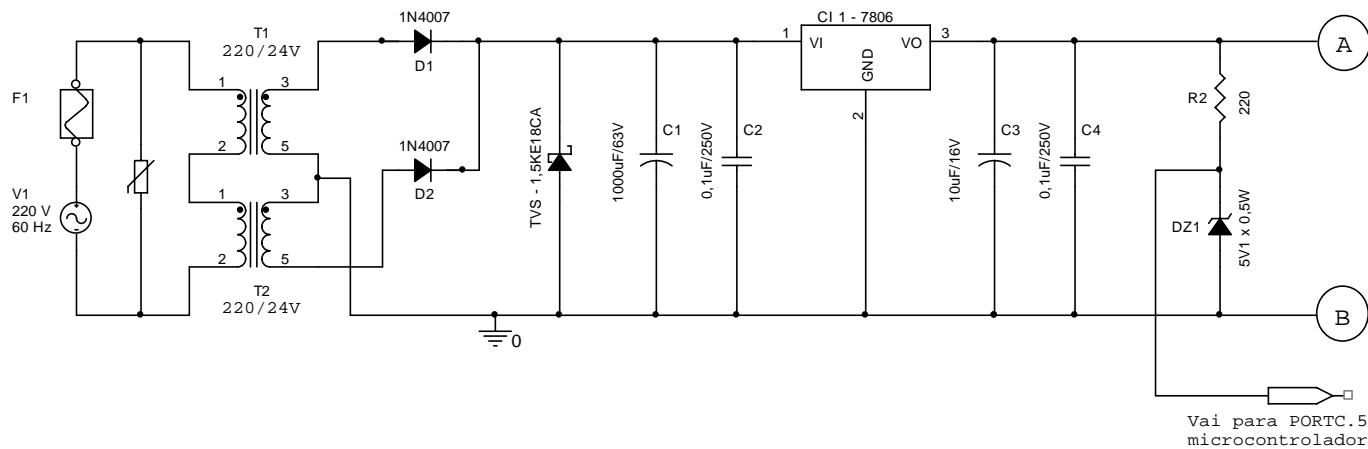



Figura B.1 – Esquema do circuito eletrônico; parte 1.

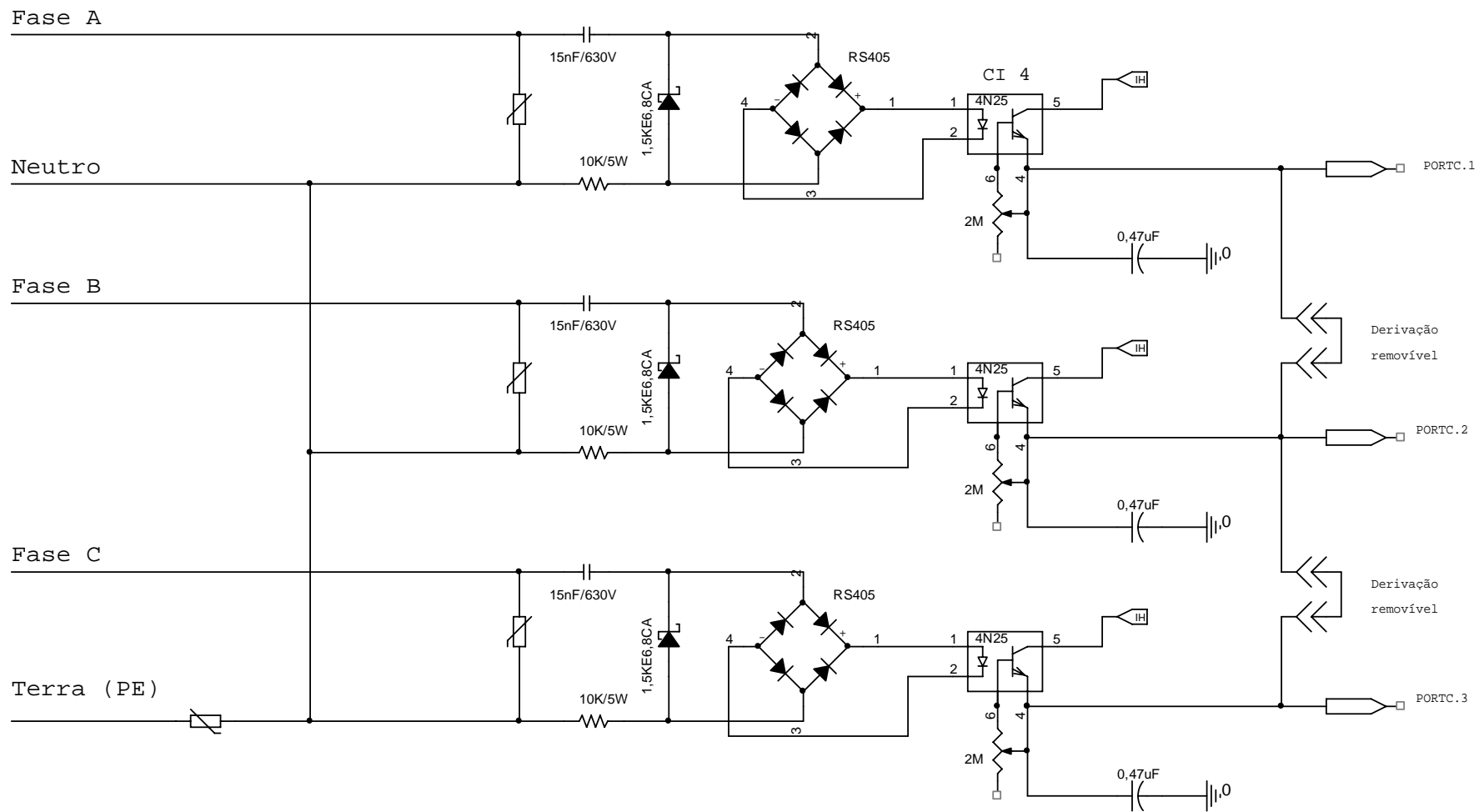



Figura B.2 – Esquema do circuito eletrônico; parte 2.

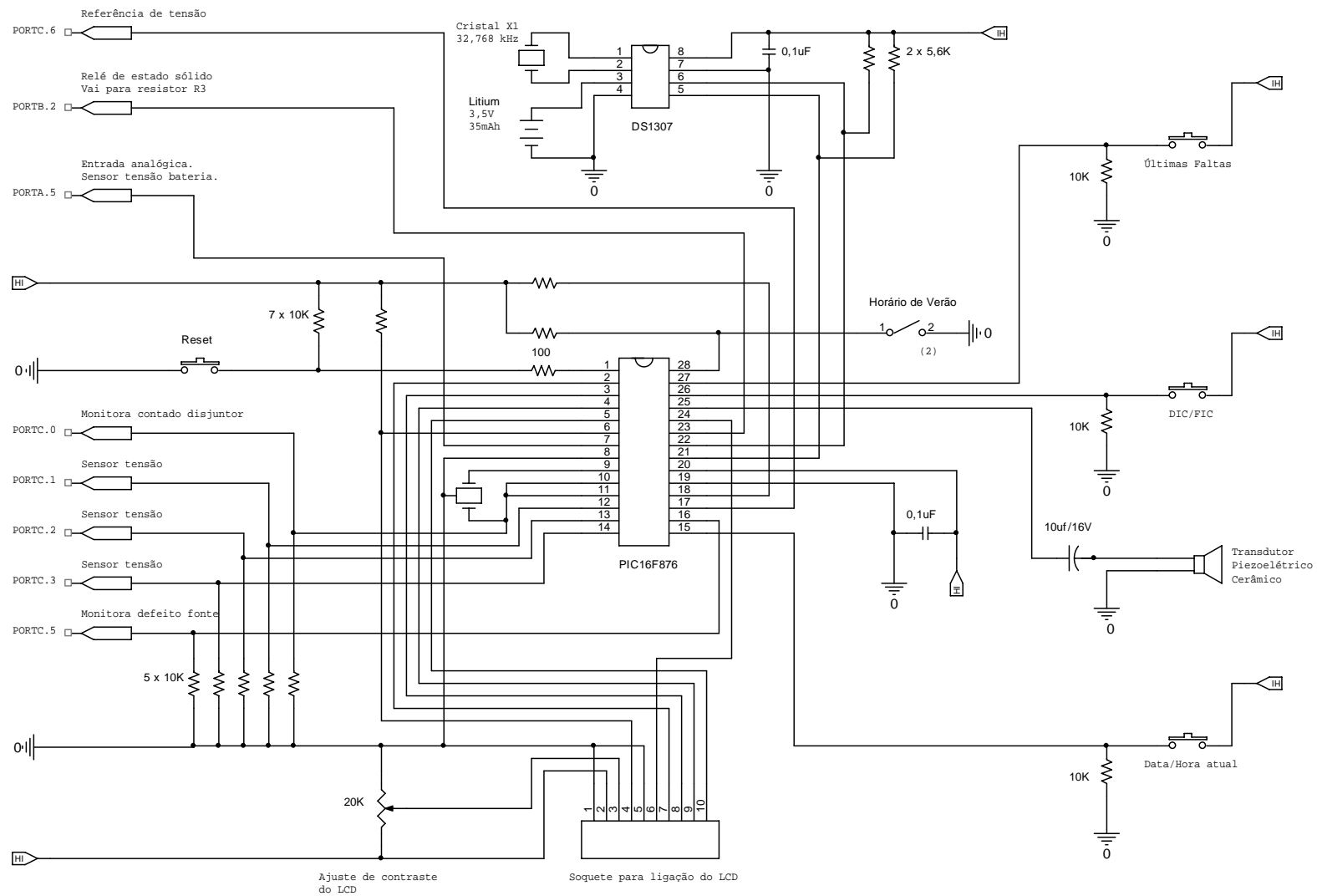



Figura B.3 – Esquema do circuito eletrônico; parte 3.